

TREBALL FI DE GRAU

**Grau en Enginyeria Mecànica**

## **PASSIVE IMPEDANCE OF A BICYCLE RIDER**



### **Memòria i Annexos**

|                      |                    |
|----------------------|--------------------|
| <b>Autor:</b>        | Toni Prats Cardona |
| <b>Director:</b>     | Arend L. Schwab    |
| <b>Co-Director:</b>  | Barys Shyrokau     |
| <b>Convocatòria:</b> | Juny 2017          |



## Resum

El següent projecte ha estat realitzat amb l'objectiu d'identificar les propietats biomecàniques del cos d'un ciclista a partir de test realitzats en un ambient controlant en el laboratori. És vol estudiar la resposta del vehicle conjuntament amb la resposta de la persona, que actuarà tant com a ciclista actiu (intentant respondre als estímuls de manera conscient amb els músculs tensionats), com a ciclista passiu (amb el cos relaxat i responent als estímuls de manera inconscient), durant els modes de comportament del vehicle ("wobble", "weave" i "capsize").

Per aquest motiu, ens centrarem en el disseny, muntatge i instrumentació d'una maqueta de bicicleta la qual es muntarà a una plataforma Stewart, per a posteriorment realitzar experiments i determinar les forces exercides pel ciclista en els punts d'interacció amb la bicicleta (manillar, pedals, seient), les velocitats i acceleracions del tronc del participant, així com també podrem determinar la posició relativa del tronc del ciclista referent a la posició de la plataforma. D'aquesta manera, es podrà obtenir la funció de transferència del ciclista en dos postures diferents (amb braços estirats i amb braços flexionats).

La resposta del cos del participant serà representada en el domini de la freqüència, per mitjans de la funció de resposta de freqüència (FRF). La FRF descriurà el moviment del tronc superior del participant relatiu a la plataforma i la impedància del cos. Tot això serà descrit utilitzant mètodes de identificació de sistemes no paramètrics.

Les FRF referents a les forces poden ser utilitzades posteriorment per altres investigadors per a identificar els paràmetres del model biomecànic de "lumped mass", adients per a la integració amb el model multi-cos de la bicicleta.

Els experiments consistiran en provocar moviments en els 6 graus de llibertat dels quals disposa la bicicleta a una sèrie de participants de tres grups d'edat diferents (joves, adults i edat mitjana). Les excitacions consistiran en una senyal multisinusoïdal aparentment aleatòria, que anirà dels 0.1 Hz fins als 10 Hz.

Les forces màximes esperades en els punts de interacció són de 200 N en els manillars, 400 N en els pedals i 500 N de força lateral i 1000 N verticals en el seient.

## Resumen

El siguiente proyecto ha sido realizado con el objetivo de identificar las propiedades biomecánicas del cuerpo de un ciclista a partir de experimentos realizados en un ambiente controlado en el laboratorio. Se quiere estudiar la respuesta del vehículo conjuntamente con la respuesta de la persona, que actuara tanto como ciclista activo (intentando responder a los estímulos de manera consciente con los músculos tensionados), como de ciclista pasivo (con el cuerpo relajado y respondiendo a los estímulos de manera inconsciente), durante los modos de comportamiento del vehículo (“wobble”, “weave” y “capsize”).

Por este motivo, el proyecto se centra en el diseño, montaje e instrumentación de una maqueta de bicicleta la cual será montada en una plataforma Stewart, para posteriormente realizar experimentos y determinar las fuerzas ejercidas por el ciclista en los puntos de interacción con la bicicleta (manillar, pedales, asiento), las velocidades y aceleraciones del tronco del participante, así como también poder determinar la posición relativa del tronco del ciclista con referencia a la plataforma. De este modo, se podrá obtener la función de transferencia para un ciclista en dos posturas diferentes (brazos estirados y brazos flexionados).

La respuesta del cuerpo del participante será representada en el dominio de la frecuencia, por medio de la función de respuesta de frecuencia (FRF). La FRF será describirá el movimiento del tronco superior del participante relativo con la plataforma y la impedancia del cuerpo. Todo esto será descrito utilizando métodos de identificación de sistemas no paramétricos.

Las FRF referente a las fuerzas podrán ser utilizadas posteriormente por otros investigadores para identificar los parámetros del modelo biomecánico de “lumped mass”, adecuados para la integración con el modelo multi-cuerpo de la bicicleta.

Los experimentos consistirán en provocar movimientos en los 6 grados de libertad de los cual dispone la bicicleta a una serie de participantes de tres grupos de edades distintos (jóvenes, adultos y edad media). Las excitaciones consistirán en una señal multisinusoidal aparentemente aleatoria, que irá desde los 0.1 Hz hasta los 10 Hz.

Las fuerzas máximas esperadas en los puntos de interacción son de 200 N en los manillares, 400 N en los pedales y 500 N de fuerza lateral junto con 1000 N de fuerza vertical en el asiento.



## Abstract

The aim of this project is to identify the biomechanical properties of the human body from laboratory test, realized in a controlled environment. The response of the vehicle together with the response of the cyclist wants to be studied. The participant will not only act as an active rider (trying to control his response to the different stimuli), but he will also act as a passive rider (responding unconsciously to the stimuli), during the different behaviour modes of the vehicle (wobble, weave and capsize).

For this reason, we will be focusing on designing, building and instrumenting a mock-up bicycle that will be mounted on top of a Stewart platform to determine the forces the rider applies to the interaction interfaces (handlebars, foot pegs and seat), the velocities and accelerations of the trunk of the participant. In addition, the relative position of the upper body of the rider to the platform. This way, we will be able to identify the transfer function of the rider in two different postures (one with straight arms and the other with flexed arms).

The response of the rider's body will be represented in the frequency domain by means of frequency response functions (FRF). The FRF will describe the motion of the rider's trunk and upper torso relative to the platform, and the mechanical impedance of the rider body. All of this will be described by non-parametric system identification methods.

The force frequency response functions can be further used from other researchers to identify the parameters of lumped mass biomechanical models, suited to integration with the multi-body model of the bicycle.

The motions proposed for the experimentation process are to excite the 6 degrees of freedom present in the bike. The test subjects will be divided by age groups (young adult, adult, middle aged). The excitation will be produced using a pseudo-random multisinusoidal signal, going from 0.1 Hz to 10 Hz.

The maximum forces expected are of 200 N for the handlebars, 400 N for the foot pegs and 500 N of lateral force and 1000 N of vertical force for the seat.



## Agraïments

M'agradaria agrair a les persones que han fet possible que aquest projecte surtis endavant en tant poc temps.

Primerament agrair a George Dialynas (PhD Researcher en el Fietslab) per l'ajuda proporciona durant el desenvolupament d'aquest projecte ja que ha set la veu de l'experiència i el guia que m'ha ensenyat com funcionen les coses i a qui poder demanar ajuda.

Així com també agrair a Jos van Driel (encarregat de la meetshop) per l'ajuda proporciona referent a la instrumentació del projecte i creació del software per a mesurar les forces en els punts d'interacció.





# Índex

|  |            |
|--|------------|
| <b>RESUM</b>                             | <b>I</b>   |
| <b>RESUMEN</b>                           | <b>II</b>  |
| <b>ABSTRACT</b>                          | <b>III</b> |
| <b>AGRAÏMENTS</b>                        | <b>V</b>   |
| <b>CAPÍTOL 1: INTRODUCCIÓ</b>            | <b>9</b>   |
| 1.1. Objectius del treball .....         | 9          |
| 1.2. Abast del treball .....             | 9          |
| <b>CAPÍTOL 2: ESTRUCTURA</b>             | <b>11</b>  |
| 2.1. Requeriments.....                   | 11         |
| 2.2. Disseny .....                       | 11         |
| 2.3. Base .....                          | 15         |
| 2.4. Instrumentació.....                 | 18         |
| <b>CAPÍTOL 3: EXPERIMENTACIÓ</b>         | <b>20</b>  |
| 3.1. Descripció .....                    | 20         |
| 3.1.1. Roll .....                        | 20         |
| 3.1.2. Pitch .....                       | 21         |
| 3.1.3. Yaw.....                          | 21         |
| 3.1.4. Moviment vertical .....           | 21         |
| 3.1.5. Moviment lateral.....             | 21         |
| 3.1.6. Moviment frontal .....            | 21         |
| 3.2. Senyal .....                        | 22         |
| 3.3. Seguretat .....                     | 23         |
| 3.4. Forces Esperades.....               | 26         |
| 3.5. Resultats .....                     | 27         |
| <b>CONCLUSIONS</b>                       | <b>33</b>  |
| <b>PRESSUPOST</b>                        | <b>35</b>  |
| <b>BIBLIOGRAFIA</b>                      | <b>39</b>  |
| <b>ANNEX A: PLÀNOLS DE LA PLATAFORMA</b> | <b>43</b>  |
| <b>ANNEX B: CÀLCULS</b>                  | <b>47</b>  |



|  |           |
|--|-----------|
| B.1. Seient .....  | 47        |
| B.2. Manillar.....   | 48        |
| B.3. Pedals .....  | 48        |
| <b>ANNEX C: SOL·LICITUD AL COMITÈ ÈTIC DE TUDELFT .....</b>  | <b>50</b> |
| C.1. Informe d'inspecció .....                               | 50        |
| C.2. Llista de verificació.....                              | 58        |
| C.3. Sol·licitud ètica .....                                 | 63        |
| C.4. Sol·licitud per participants.....                       | 68        |
| <b>ANNEX D: TAULA DE PARTICIPANTS .....</b>                  | <b>70</b> |
| D.1. Taula Tipus .....                                       | 70        |
| <b>ANNEX E: SENYALS EXPERIMENTALS .....</b>                  | <b>72</b> |
| E.1. Senyal de rotació B1 .....                              | 72        |
| E.2. Senyal de rotació B3 .....                              | 73        |
| E.3. Senyal de rotació B10 .....                             | 74        |
| E.4. Senyal de translació B1.....                            | 75        |
| E.5. Senyal de translació B3.....                            | 76        |
| E.6. Senyal de translació B10.....                           | 77        |
| <b>ANNEX F: CALIBRACIÓ DE LES GALGUES .....</b>              | <b>78</b> |
| <b>ANNEX G: PROGRAMES DE MATLAB .....</b>                    | <b>82</b> |
| G.1. Llegir informació dels IMU.....                         | 82        |
| G.2. Calcular la coherència de les senyals .....             | 85        |
| G.3. Calcular la funció de transferència de les senyals..... | 91        |
| G.4. Calcular FFT .....                                      | 96        |

## Capítol 1: Introducció

En la actualitat, el comportament dinàmic de la bicicleta és bastant extens. No obstant això, les propietats del ciclista no són tant estudiades i per tant no hi ha tant coneixement disponible sobre aquest. Per tant, a part d'un model de control basat en un ciclista actiu, hi ha la necessitat per a descriure el comportament d'un ciclista passiu. S'han realitzat alguns estudis en vehicles de "single-track" amb anterioritat, però encara no s'han realitzat estudis específics en bicicletes.

D'aquesta manera, es podran crear i validar models per als ciclistes i relacionar els models existents de la bicicleta amb un model per al ciclista. I així, aconseguir un únic model per al conjunt del vehicle-persona.

### 1.1. Objectius del treball

El principal objectiu d'aquest projecte és la identificació de les funcions de transferència en les interfícies d'interacció entre el ciclista i la bicicleta, així com identificar el comportament del tronc d'aquest. Amb la finalitat de validar el model matemàtic del ciclista passiu emprat en altres projectes d'aquest laboratori.

### 1.2. Abast del treball

En aquest projecte es procedirà al disseny i construcció d'una estructura metàl·lica, així com a la seva instrumentalització amb galgues extensiomètriques. El disseny i construcció d'aquesta compliran les especificacions sol·licitades pels tutors del projecte. La part electrònica i referent a software necessari per a realitzar les mesures adients no formaran part de l'abast d'aquest projecte i seran encarregats a terceres persones o es buscaran solucions ja disponibles al mercat.





## Capítol 2: Estructura

### 2.1. Requeriments

L'estructura ha de ser suficientment rígida per a que les forces mesurades siguin vàlides i consistents amb la realitat. A més a més, ha de complir amb els requeriments de seguretat establerts pel comitè ètic de la universitat de TUDelft, degut a la participació de persones en els experiments.

Un altre aspecte important de l'estructura, és que en els punts d'interacció es necessari que hi hagi una deformació per a poder mesurar utilitzant les galgues extensiomètriques.

Finalment, l'estructura ha de poder permetre una certa variabilitat en la geometria, per a poder simular diferents estils de bicicleta disponibles en el mercat. Això s'aconsegueix modificant el “stack” i el “reach”.

### 2.2. Disseny

La utilització d'un quadre de bicicleta ja existent va ser descartada degut a que la instrumentació d'aquest podria suposar un problema i aquesta solució no ens aportava la geometria variable estipulada en els requisits. A més, presentava la dificultat afegida de dissenyar una base capaç de suportar els esforços i subjectar el quadre a la plataforma.

Per tant, es va començar a dissenyar un quadre de geometria variable que ens permetria modificar la distància entre el seient i els pedals, així com la distància entre el seient i el manillar. D'aquesta manera també podríem col·locar els sensors en els llocs desitjats.



**Figura 1.1.** Primer disseny de l'estructura (Font: Toni Prats)

Emperò, aquesta solució també presentava la dificultat de dissenyar i construir una base capaç de subjectar el sistema de forma segura a la plataforma. D'altra banda, al tenir el temps limitat i sabent que la producció d'un quadre de bicicleta a mesura pot tardar de 5 a 7 mesos la idea va ser descartada.

Seguint els consells de membres del laboratori que havien treballat en un simulador de bicicleta, es va optar per una solució la qual es basa en tubs d'acer de 25mm de diàmetre exterior i peces d'unió d'alumini de l'empresa Rose+Krieger, ja que solucions similars havien donat molt bons resultats en projectes anteriors.



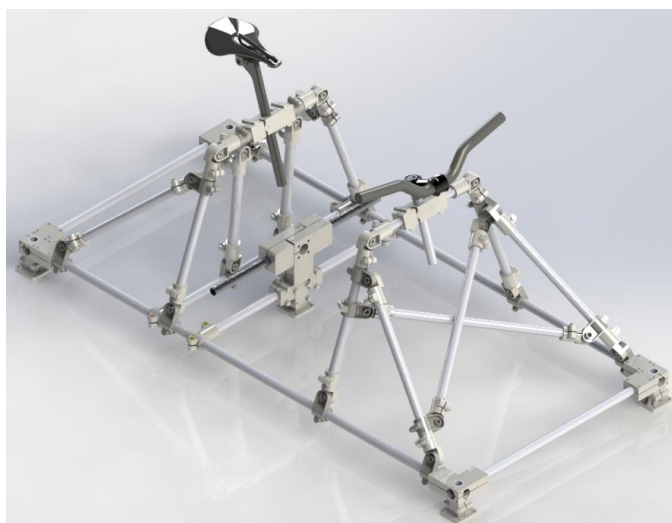
**Figura 1.2.** Segon disseny de l'estructura (Font: Toni Prats)

El model va anar evolucionant segons els consells i crítiques obtingudes en les reunions setmanals. El primer model d'aquesta solució va ser descartat degut a la seua complexitat i aparent falta de rigidesa. Posteriorment, els següents models afegeixen rigidesa a l'estructura, però augmenten la complexitat o el cost total del sistema.



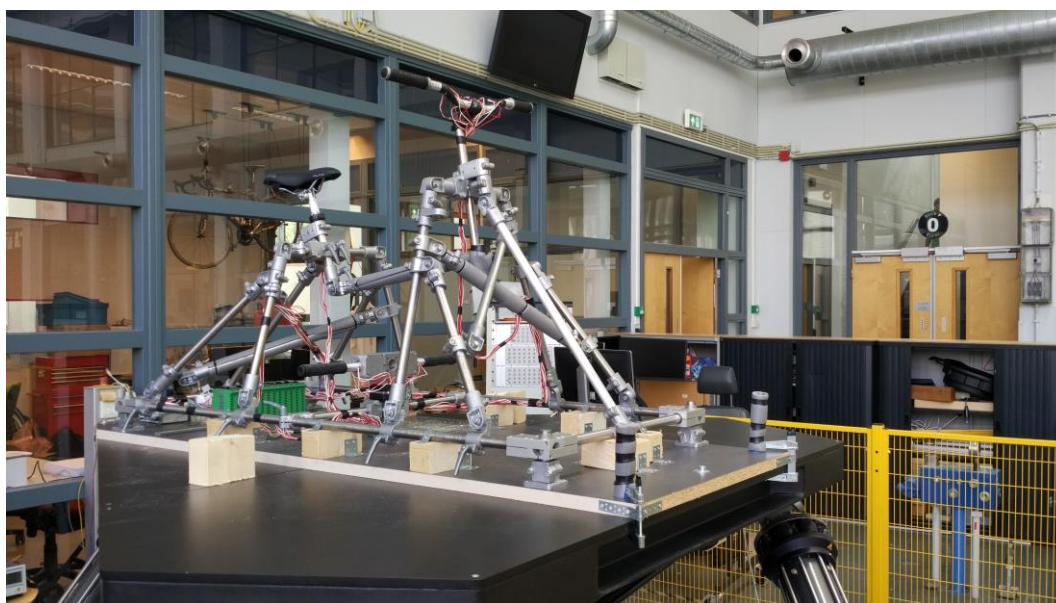
**Figura 1.3.** Tercer disseny de l'estructura (Font: Toni Prats)

Finalment, es decideix per canviar uns detalls del darrer model, que ens permetran simplificar el muntatge i distribuir millor les forces.



**Figura 1.4.** Disseny final (Font: Toni Prats)

Tot i així, aquesta darrer solució no està exempta de canvis i millores durant la seua construcció, degut a que la rigidesa obtinguda no era la desitjada. Aquests canvis realitzats aporten a l'estructura la rigidesa optima, però sacrifica la rapidesa amb la qual es podia variar la geometria del disseny previ, encara que seguim mantenint la possibilitat de variar les dimensions de la maqueta.



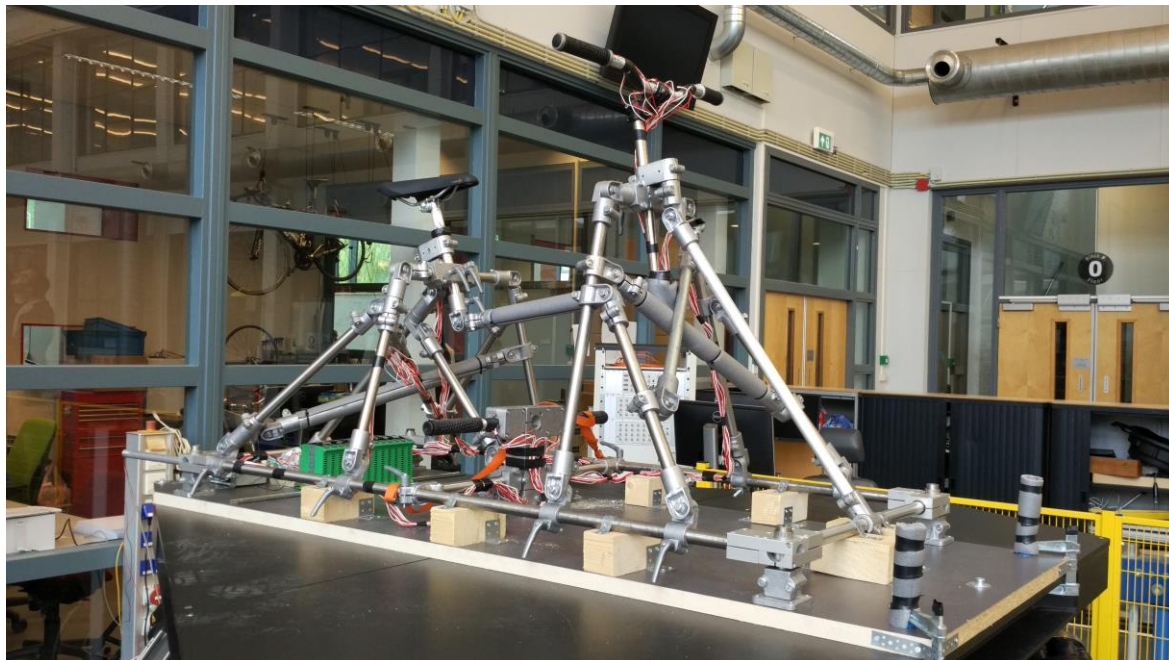
**Figura 1.5.** Mock-up final (Font: Toni Prats)



**Figura 1.6.** Vista posterior Mock-up final (Font: Toni Prats)



Cal afegir que les dimensions i geometria que s'utilitzaran en aquest projecte han estat extretes de models existents en el mercat, basat en bicicletes de passeig i de carretera, i comprovats amb el programa rattleCAD.



**Figura 1.7.** Mock-up amb totes les modificacions finls (Font: Toni Prats)

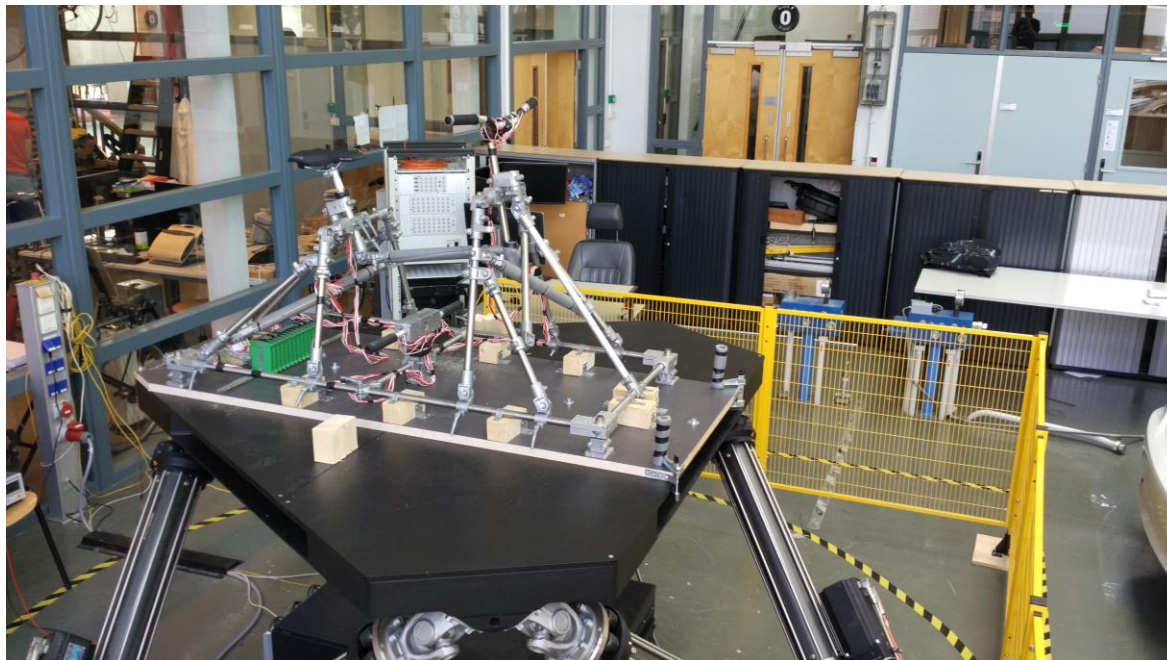
Finalment, per descriure l'estructura final dir que consta de 4 conjunt. El conjunt frontal, que consta de l'estructura que subjectarà el manillar i distribuirà les forces que s'apliquin sobre aquest. El conjunt posterior, que distribuirà les forces aplicades del seient fins a la base. El conjunt posterior i frontal estan units mitjançant un tub per augmentar la rigidesa del conjunt. El tercer conjunt es una simplificació del sistema dels pedals d'una bicicleta, la funció d'aquest assemblatge és la de transmetre les forces que el participant exerceixi amb els peus a la base. I per acabar la base.

## 2.3. Base

Un altre problema a solucionar era la manera de assegurar la estructura a la plataforma Stewart, degut a que no ens ha estat permès el poder obrir forats per a poder passar cargols.

La solució a la qual s'ha arribat ha set la utilització d'una segona base de fusta (conglomerat) de 2 X 0.8 m a la qual podrem assegurar l'estructura amb cargols en les bases utilitzades. A més, s'han utilitzat suports de fusta tova per absorbir possibles vibracions dels tubs i també evitar la deformació d'aquests i mantenir la integritat del sistema.

La base de fusta ha estat muntada a la plataforma mitjançant tres cargols M9, dos cargols M6. Els forats passants per als cargols són forats ja existents en la plataforma, ja que s'ha evitat perforar la plataforma degut al seu cost. Per raons de seguretat també s'ha emprat dos mordasses en la part davantera.

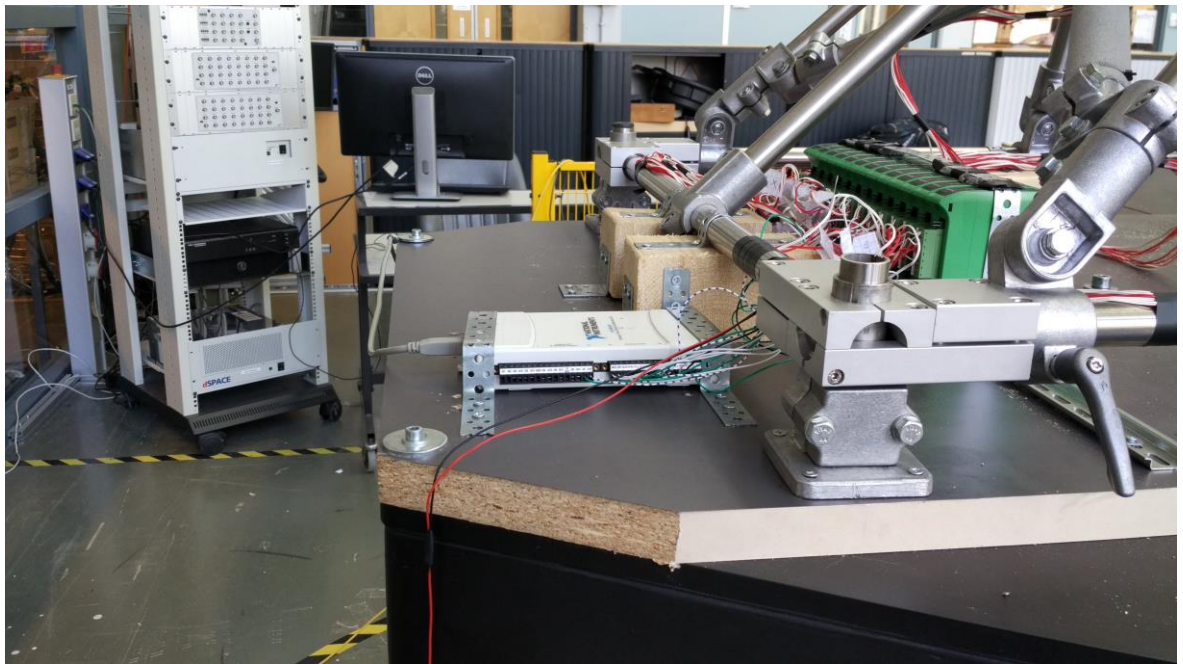


**Figura 1.8.** Vista de la base de fusta conjuntament amb els mètodes d'ancoratge (Font: Toni Prats)



**Figura 1.9.** Vista dels sistemes d'ancoratge frontals (Font: Toni Prats)





**Figura 1.10.** Vista dels sistemes d'ancoratge posteriors (Font: Toni Prats)



**Figura 1.11.** Vista cargols centrals (Font: Toni Prats)

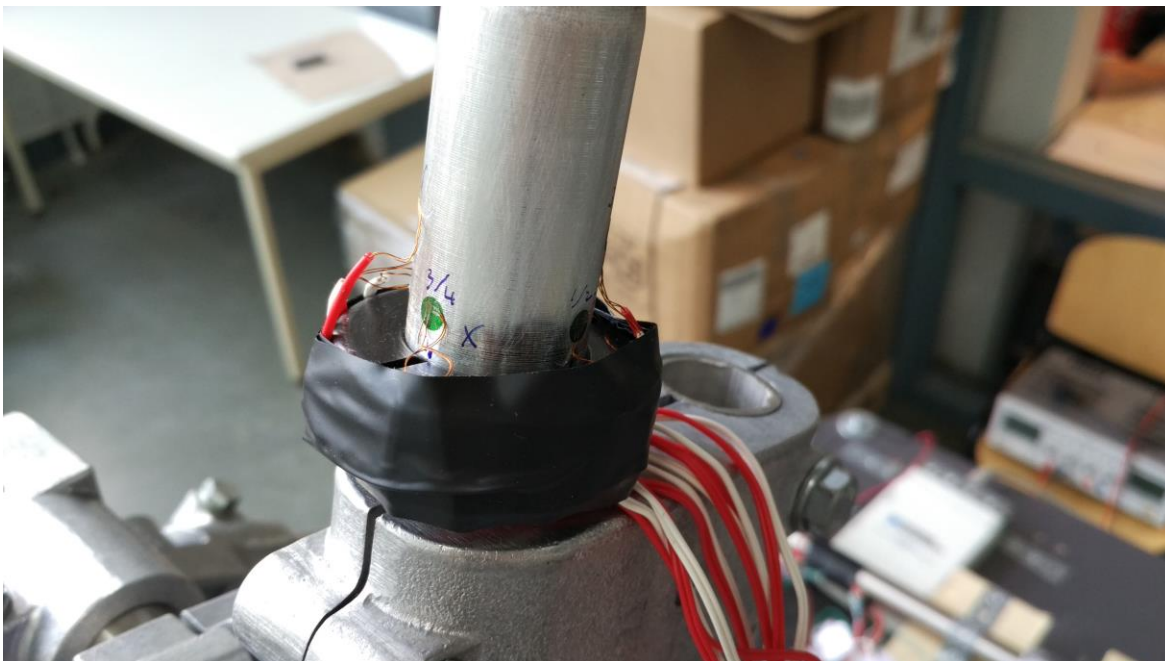
## 2.4. Instrumentació

Per a l'obtenció de dades, es van comparar tres solucions principals. L'ús de cèl·lules de carrega amb sensors de torsió, l'ús de cèl·lules de carrega conjuntament amb rodaments capaços de mesurar esforços i finalment galgues extensiomètriques. Degut al alt cost i complexitat de les dues primeres opcions es va optar per utilitzar les galgues extensiomètriques, ja que si es col·loquen adequadament poden mesurar forces en els tres eixos.

Els punts de captació de dades, com ja s'ha mencionat prèviament son el manillar, el seient i els pedals. Per al manillar i seient es mesuraran les forces en els tres eixos, en canvi en els pedals només es mesuraran dos eixos, degut a que no se espera l'observació de esforços axials en el eix de la biela de la bicicleta.

Així doncs, s'utilitzaran les galgues en una configuració de pont de Wheatstone de 4 galgues actives, un pont per a cada eix que es desitja mesurar. Per tant, en aquest projecte contem amb 13 ponts de galgues, cada pont amb el seu amplificador adient, veure l'annex B per als càlculs sobre la deformació en els punts de mesura per a la tria de les galgues.

A més a més, també es vol mesurar la posició relativa del tronc del ciclista amb respecte a la bicicleta. Per aquest motiu s'utilitzaran dos IMU, una situada en el pit del participant i l'altra se situarà baix el seient el més proper a la persona possible.



**Figura 1.12.** Detall de les galgues extensiomètriques (Font: Toni Prats)





**Figura 1.13.** Vista dels amplificadors i sistema de recollida de dades (Font: Toni Prats)



**Figura 1.14.** IMUs utilitzats per a la recollida de dades (Font: Toni Prats)

## Capítol 3: Experimentació

### 3.1. Descripció

Es treballarà amb un grup de entre 20 i 30 persones per a cada grup d'edat, de les quals s'anotarà l'edat, el pes, l'altura, la posició del tronc i la posició del genolls al estar la plataforma. L'experiment constarà de 6 parts. En cada una de les parts s'excitarà la plataforma amb un moviment diferent, mitjançant una senyal multisinusoidal.

Les dades seran recopilades mitjançant les galgues extensiomètriques amb el seu sistema d'adquisició de dades, amb una freqüència de mostreig de 20 Hz. També es mesuraran dades amb els dos IMUs instal·lats, un a la plataforma (IMU de referència) i un altre a l'altura de les espatlles, és a dir en la vertebra T1.

Amb aquest experiment, es pretén estudiar els 6 graus de llibertat de la bicicleta. També comptarem amb dos posicions diferents, la primera amb els músculs relaxats i la segona amb els músculs dels braços tensionats. D'aquesta manera també podrem estudiar i comprovar si algun participant tensiona els músculs de manera inconscients.

Per a la realització del experiments, primer és provarà tot el procés experimental amb un subjecte de proves, el qual forma part del equip. D'aquesta manera es podrà provar la correcta funcionalitat de tot el sistema sense incomplir les normes ètiques de la universitat, i a més a més, les dades obtingudes en serviran de referència per a les posteriors mesures. Aquestes dades consistiran en l'avaluació del confort, correcta selecció de l'amplitud i amb la obtenció de la desviació estàndard i el valor mitjà per a la posterior comparació amb els altres participants i així poder determinar el control inconscient de la musculatura en diferents persones.

#### 3.1.1. Roll

La raó per a realitzar aquest experiment és per a avaluar la funció de transferència del tronc del participant mentre intenta estabilitzar la bicicleta en un escenari de vent lateral o de "weave". L'eix per aquest moviment serà l'eix que uneix els dos punts de contacte de les rodes amb el terra i sota el seient, d'aquesta manera ens assegurem mesurar la resposta del tronc del participant. Per aquest motiu, es representaran les funcions de resposta de freqüència (FRF) comparant el moment aplicat en el manillar amb la velocitat de la plataforma, el moment aplicat en els pedals amb la velocitat de la plataforma, així com també la velocitat de moviment del tronc del participant amb la velocitat de la plataforma. D'aquesta manera obtindrem un valor adimensional.

### **3.1.2. Pitch**

Per a saber que li succeeix al ciclista quan es troba amb irregularitats en el seu camí, com per exemple un forat en la carretera o un baden, es necessari estudiar el moviment de caboteig en el dispositiu. L'eix d'aquest moviment és compartit amb les altres rotacions implementades. D'aquesta manera, s'aconseguiran les FRF dels pedals front a la velocitat de la plataforma i la velocitat de moviment del tronc del participant amb la velocitat de la plataforma. D'aquesta manera, amb les dades recopilades també es podria estudiar el comportament necessari d'una suspensió davantera per absorbir les vibracions en un futur.

### **3.1.3. Yaw**

El moviment de "yaw" succeeix en la roda posterior i es el responsable de canviar de direcció la trajectòria de la bicicleta. L'eix d'aquest moviment és compartit amb les altres rotacions implementades. En aquest experiment s'estudiaran les FRF de la velocitat del tronc del participant front a la velocitat d'excitació de la plataforma i el moment aplicat en el manillar front a la velocitat de la plataforma.

### **3.1.4. Moviment vertical**

Aquest tipus de moviment ens proporcionarà dades importants sobre com es transmeten les acceleracions i vibracions pel tronc. D'aquest experiment extraurem les FRF comparant les acceleracions del seient amb les acceleracions experimentades en el tronc i les forces verticals exercides en el seient front a l'acceleració de la plataforma. D'aquesta manera podrem estudiar la funció de transferència del tronc del participant i estudiar quines acceleracions i vibracions són incòmodes o nocives per al ciclista.

### **3.1.5. Moviment lateral**

Aquest tipus de moviment va relacionat amb el moviment de "roll" degut als modes de comportament de la bicicleta. D'aquest experiment obtindrem les FRF de les acceleracions de la plataforma amb les acceleracions del tronc i les forces exercides en el seient.

### **3.1.6. Moviment frontal**

Aquest moviment s'estudiarà per obtenir les FRF de les acceleracions de la plataforma amb les del tronc del participant, per poder estudiar el que passa al ciclista en cas de acceleracions i desacceleracions brusques. També s'estudiaran les forces aplicades en el manillar en el la direcció del moviment per veure la distribució de les forces.

## 3.2. Senyal

Les senyals utilitzades en aquest projecte són senyals multisinusoidals, generades aleatòriament. El rang de freqüències utilitzades és de 0.1 a 10 Hz. Es generen tres senyals diferents per a cada moviment, canviant l'ample de banda (Taula 1).

| Senyal     | Ample de banda (HZ) |
|------------|---------------------|
| <b>B1</b>  | 0.15 – 0.75         |
| <b>B3</b>  | 0.15 – 2.85         |
| <b>B10</b> | 0.15 – 9.95         |

**Taula 1.** Ample de banda de les diferents senyals (Font: Toni Prats)

Això es fa perquè en estudis anteriors es va descobrir que el comportament de la persona es veu afectat per les freqüències a les que es sotmesa. Si el experiment només compta amb baixes freqüències el participant actuarà d'una manera, emperò al incloure altes freqüències en l'experiment, aquest canviarà la manera de reaccionar a les baixes freqüències perquè és troba condicionat per les altes freqüències presents en l'experiment.

Per a simplificar l'experimentació, s'ha decidit utilitzar les mateixes senyals en els moviments de rotació i una altra senyal diferent i amplificada en els moviments de translació. La senyal dels moviments de translació ha estat amplificada perquè aquests moviments no presenten el mateix risc que les rotacions, i així aprofitar més el rang de la plataforma.

La senyal està composta per 3 senyals, desplaçament, velocitat i acceleració. Cada senyal està composta per 8000 mostrejos, i la freqüència de mostreig és de 100 Hz. Per tant, la senyal té una duració de 80 segons.

Veure annex E per a vore les senyals.

### 3.3. Seguretat

Degut a la naturalesa del projecte i al involucrar a persones, s'ha de evitar fer mal al participant, ja que la plataforma pot assolir acceleracions i amplituds molt grans que podrien llançar al ciclista de l'estructura. Per aquest motiu s'equipara al participant amb un arnes de seguretat, el qual serà assegurat a la grua disponible en el terrat de l'edifici. També es contarà amb una cinta de seguretat en la zona dels pedals, que impedirà que retindrà els peus del participant. Addicionalment, es contarà amb un boto de parada d'emergència i de rearmament al costat de l'operari de la plataforma per a evitar possibles situacions perilloses per al participant.

Per altra banda, tot l'equipament i el procés d'experimentació ha de comptar amb l'aprovació del comitè ètic de TUDelft, veure annex C.



**Figura 2.1.** Detall del boto de parada de emergència (Font: Toni Prats)



**Figura 2.2.** Grua que s'utilitzarà com a mesura de seguretat (Font: Toni Prats)



**Figura 2.3.** Vista conjunta del sistema (Font: Toni Prats)





**Figura 2.4.** Arnes de seguretat i grua (Font: Toni Prats)



**Figura 2.5.** Vista dels sistemes de seguretat presents en la plataforma (Font: Toni Prats)

### 3.4. Forces Esperades

Per a la correcta calibració de les galgues, hem de saber quines forces esperem per així poder obtenir la màxima resolució possible. Per calcular aquestes forces, ens basarem en un moviment de balanceig lateral a nivell de la plataforma, aquest moviment es pot considerar un moviment harmònic simple, per tant podem aplicar les següents equacions:

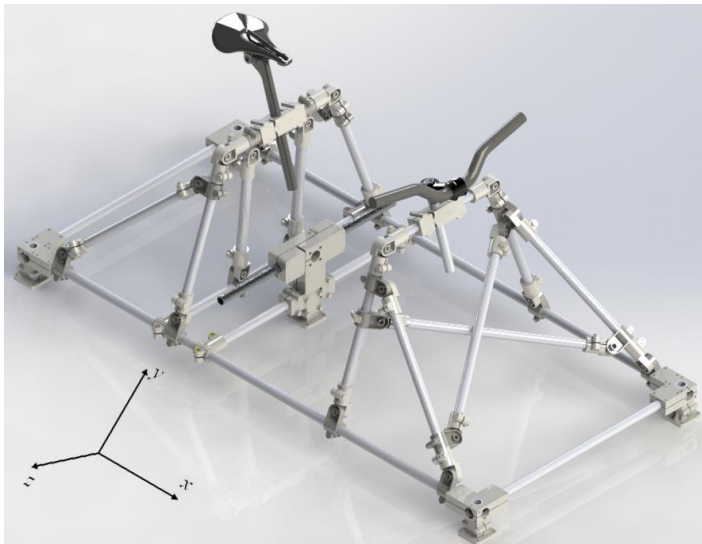
$$\omega = 2\pi \cdot f \quad (\text{Eq. 0.1})$$

$$a = -(2\pi \cdot f)^2 \cdot x \quad (\text{Eq. 0.2})$$

$$a = -\omega^2 \cdot x \quad (\text{Eq. 0.3})$$

$$F = m \cdot a \quad (\text{Eq. 0.4})$$

Per tant, sabent que la freqüència màxima serà de 10 Hz i que l'amplitud serà de 0.01 m, podem calcular l'acceleració màxima i així calcular les forces. No obstant, amb aquest mètode, l'acceleració esperada no és apropiada. Així doncs, per raons de seguretat i confort, l'acceleració màxima esperada serà de  $\frac{1}{2}g$ . Tot seguit, assumint un pes màxim de 100 Kg, podem calcular dites forces.

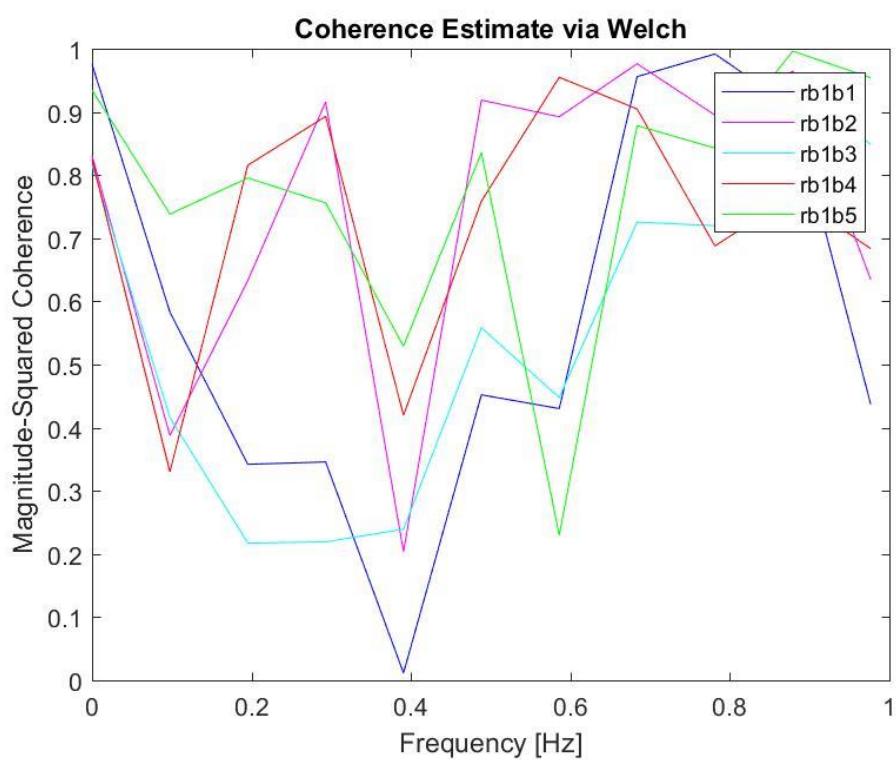


**Figura 2.6.** Eixos principals (Font: Toni Prats)

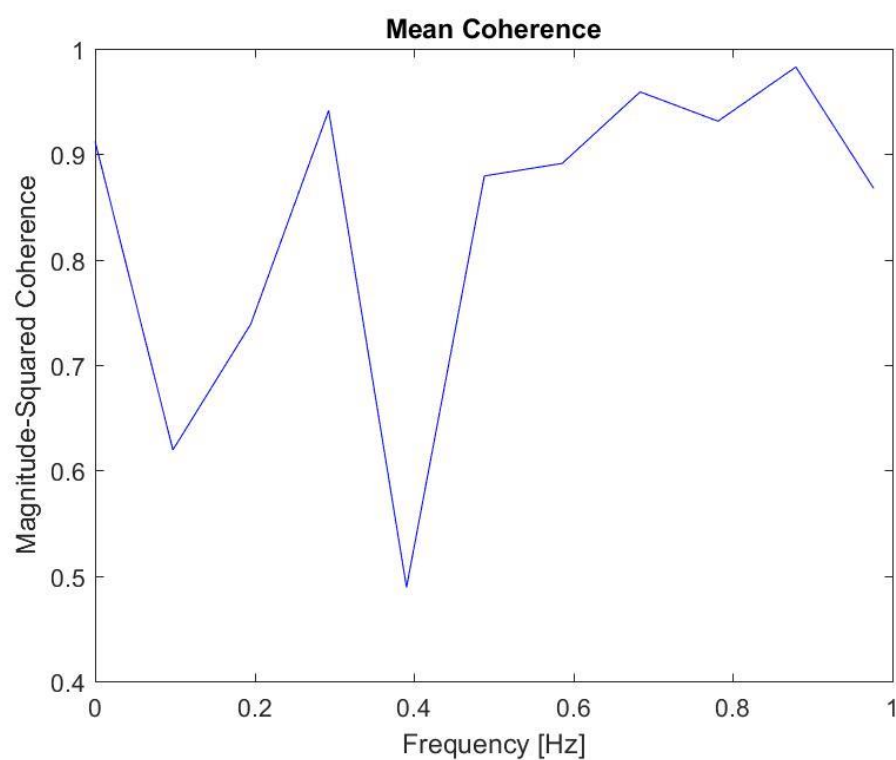


|                 | $F_x$ (N) | $F_y$ (N) | $F_z$ (N) |
|-----------------|-----------|-----------|-----------|
| <b>Manillar</b> | 200       | 200       | 200       |
| <b>Pedals</b>   | 400       | 400       | -         |
| <b>Seient</b>   | 500       | 1000      | 500       |

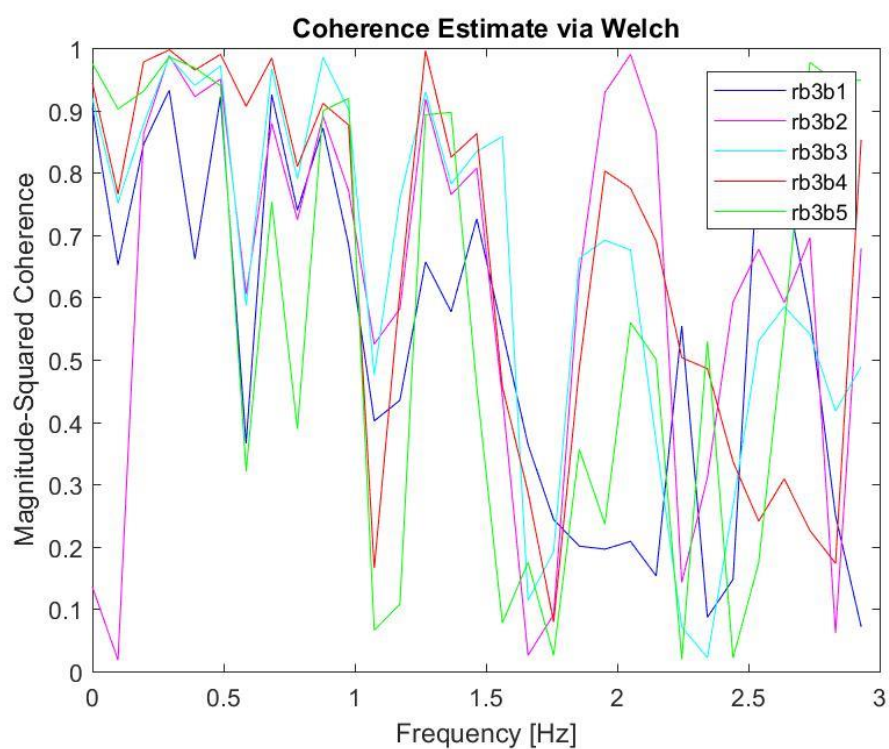
### 3.5. Resultats



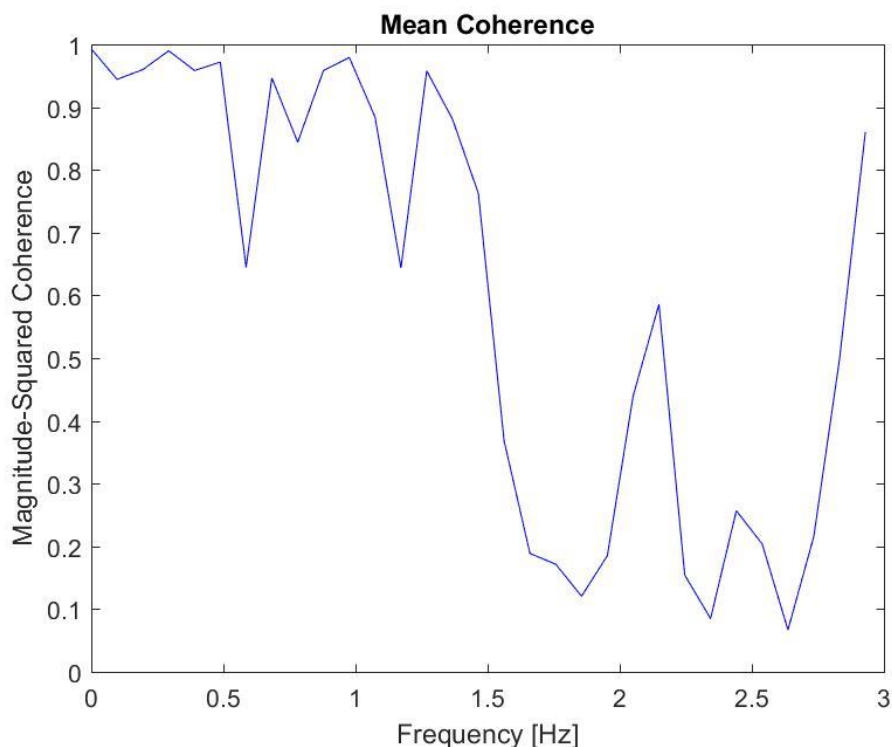
**Figura 2.7.** Coherència de la senyal B1 (Font: Toni Prats)



**Figura 2.8.** Coherència mitjana de B1 (Font: Toni Prats)



**Figura 2.9.** Coherència de la senyal B3 (Font: Toni Prats)

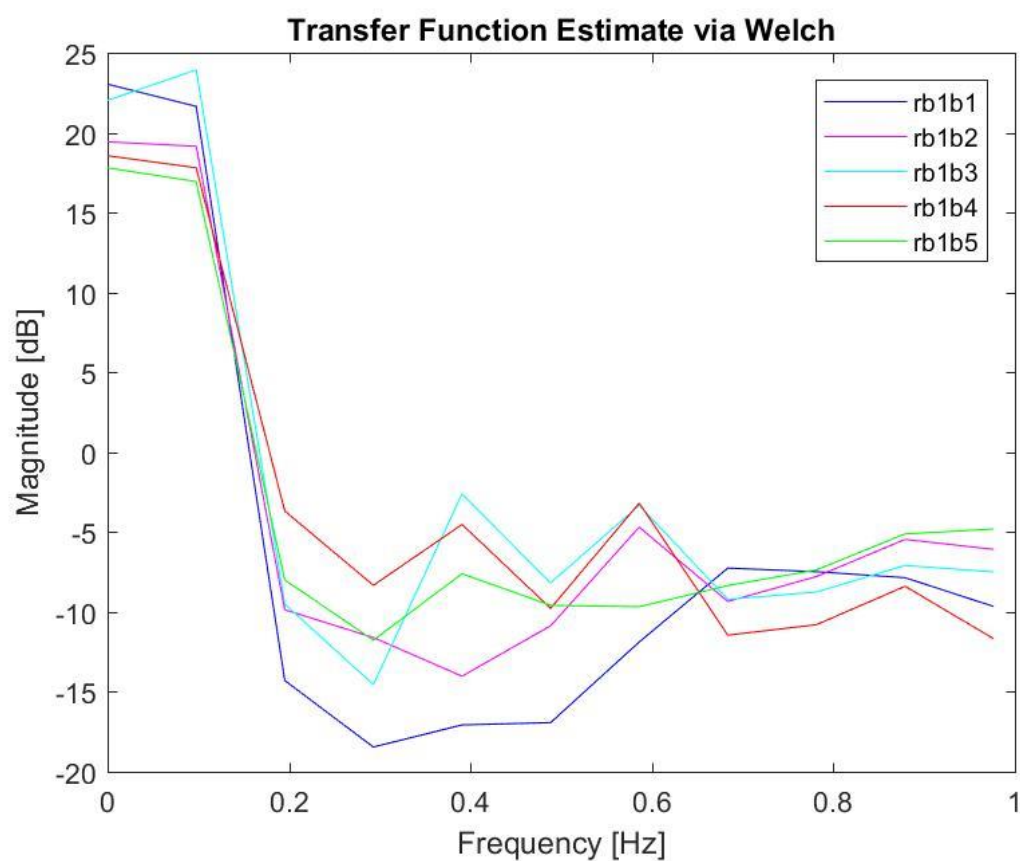


**Figura 2.10.** Coherència mitjana de B3 (Font: Toni Prats)

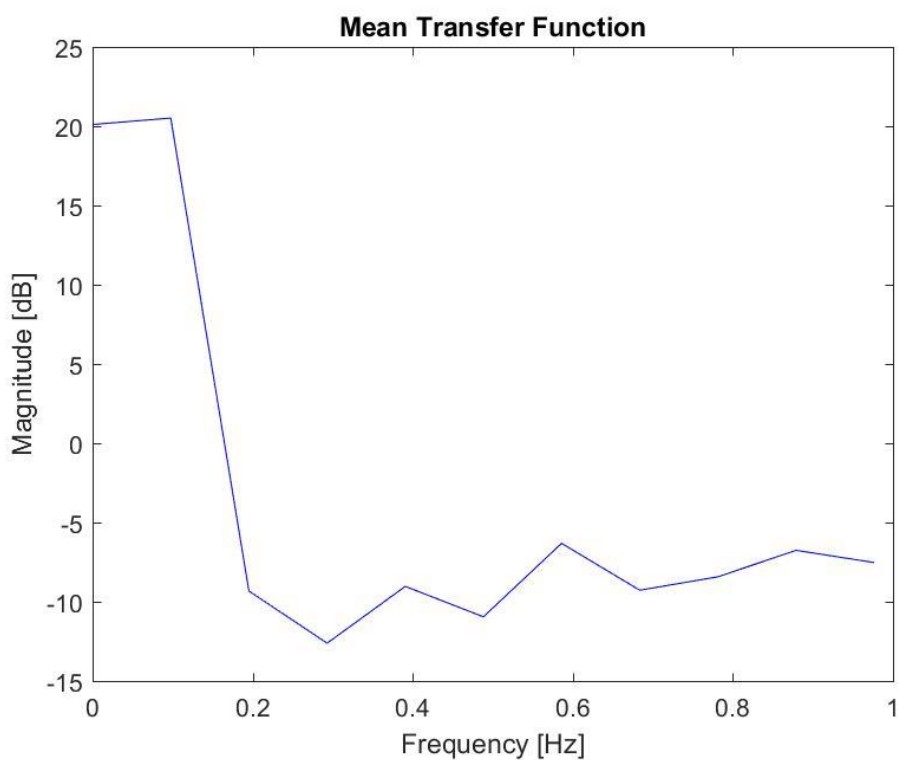
Aquestes gràfiques ens mostren la relació entre la senyal de sortida i la senyal d'entrada, és a dir ens permeten descriure la predictibilitat del sistema. Quant més alt sigui el valor de la coherència, més linier serà el nostre sistema. En la gràfica de la senyal B1, podem observar com la tendència es tenir una bona coherència, emperò hi ha una baixada important al voltant de 0.15 Hz. També hi ha un altre mínim al voltant de 0.4 Hz, però aquesta freqüència no forma part de la senyal. En les altres freqüències (0.25, 0.35, 0.45, 0.65, 0.75), podem observar com la coherència torna a escalar a partir dels 0.45 Hz.

Per a la coherència mitjana de B3, podem observar com a molt baixes freqüències la coherència es molt elevada, rondant 1 en alguns punts. Però en les freqüències majors a 1.45 Hz, aquesta decau ràpidament, i en alguns punts baixa per sota del mínim dels 0.2, on el sistema presenta un alt grau de no linearitat. Això es degut a que les altes freqüències afecten la resposta del participant, creant més interaccions. Després, podem observar un pic en la coherència, 2.05 Hz, tot seguit per un increment en la coherència en les freqüències de 2.75 i 2.85 Hz.

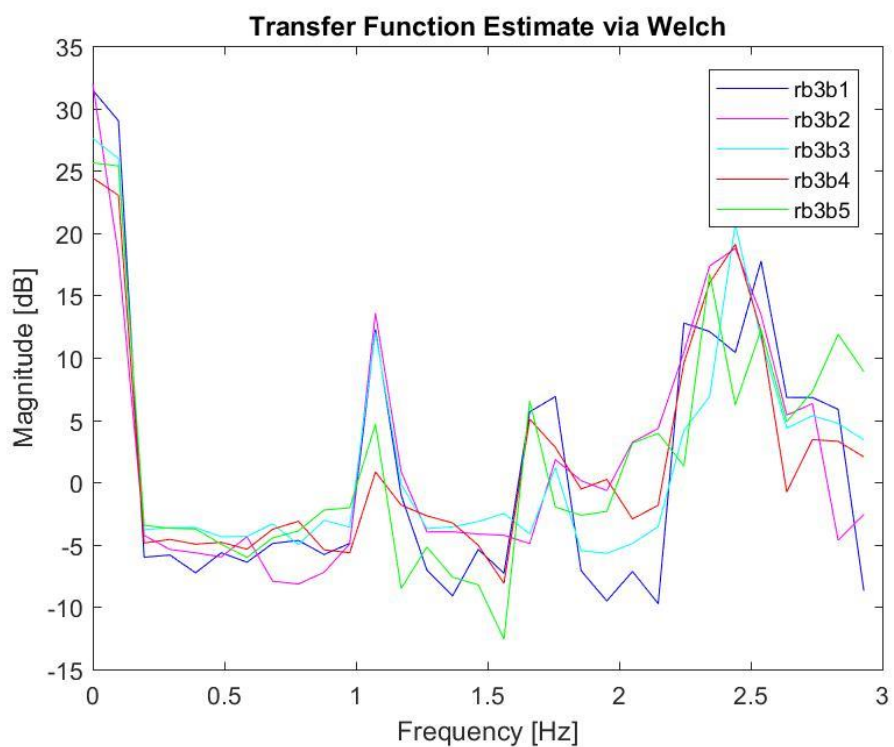
Per analitzar les dades obtingudes en els experiments, es calcularà la funció de transferència entre la velocitat angular de la plataforma, com a senyal d'entrada, i la velocitat angular del tronc del participant, com a senyal de sortida. Aquest procediment serà efectuat amb les senyals B1 i B3.



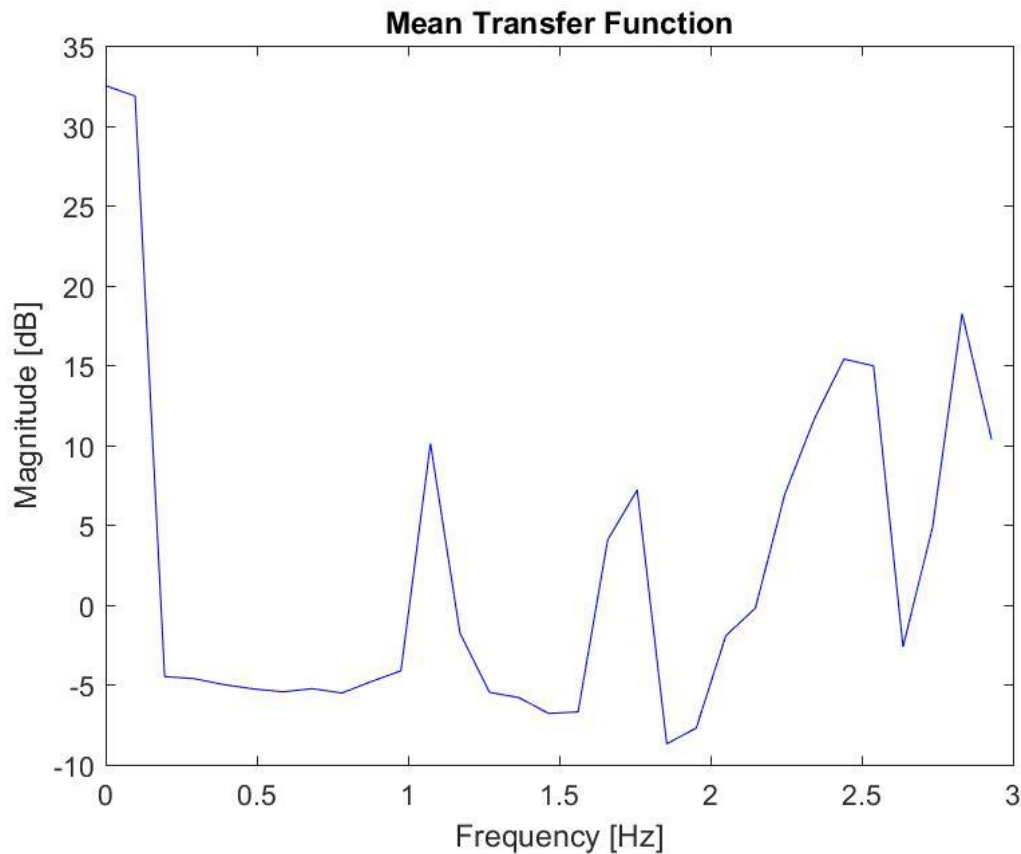
**Figura 2.11.** Funció de transferència dels diversos experiments amb B1 (Font: Toni Prats)



**Figura 2.12.** Funció de transferència mitjana de B1 (Font: Toni Prats)



**Figura 2.13.** Funció de transferència dels diversos experiments amb B3 (Font: Toni Prats)



**Figura 2.14.** Funció de transferència mitjana de B1 (Font: Toni Prats)

En la figura 2.11 podem observar un pic al voltant de 0.1 Hz i com tot seguit comença a augmentar ràpidament. En la majoria dels experiments existeixen dos màxims al voltant de 0.4 i 0.6 Hz. Aquest fet també es pot veure en la gràfica de la mitjana. També es pot observar un pic més petit al voltant dels 0.9 Hz.

En la figura 2.13 podem veure una tendència similar a la senyal anterior, emperò aquesta vegada hi ha més pics i aquests comencen a freqüències més elevades. Aquest fet també pot ser observat en la figura 2.14. En general, amb aquesta senyal també obtenim un comportament similar a l'anterior, començant amb un màxim i decreixent ràpidament, però el primer pic apareix als 1.1 Hz. Els màxims següents, estan localitzats al voltant dels 1.7, 2.5 i 2.8 Hz.

Aquestes gràfiques mostren com a molt baixa freqüència el participant es mou casi en fase amb la plataforma, emperò aquest té una amplitud de rotació major degut a que la gravetat l'estira i que els músculs de la esquena no tenen una rigidesa infinita i actuen com a un moll. Els pics representats en aquest gràfic simbolitzen les ressonàncies del sistema.

## Conclusions

Durant la fase de disseny i construcció de l'estructura es va haver de fer un compromís entre la rigidesa de l'estructura i la seua adaptabilitat a diferents tipus de persones o geometries. Tot i això, s'ha pogut aconseguir una bona rigidesa estructural, que assegurarà la integritat estructural durant els experiments, i a més l'estructura és pot seguir adaptant i modificant la seua geometria en un futur, tot i que aquest procés requerirà una mica més de temps.

Mentrestant, en la part del processament de dades, podem observar com el participant intenta estabilitzar-se durant el experiment i com aquest entra en diferents modes de ressonància amb el sistema. Aquesta autoestabilització es pot aconseguir per mitja de diferents mètodes. El primer mètode es utilitzant els canals a l'interior de l'orella, aquest receptor proveeix al usuari de informació sobre l'acceleració i moviment relatiu, per tant, no es gaire efectiu per a mantenir-se constant en l'espai, ja que una vegada estàs rotat no pots tornar a la posició inicial només amb aquest sensor. Un altre mètode disponible, són els sensors de velocitat i acceleració que existeixen en els músculs, d'aquesta manera una contracció involuntària de la musculatura lateral i posterior de l'espatlla fa que el participant vagi quasi en fase amb la plataforma, no obstant això el tronc del participant sofrirà més desplaçament a causa de la gravetat, ja que els músculs no tenen una rigidesa infinita i en aquest cas actuen com un moll. L'últim sistema d'estabilització disponible és la vista, amb aquest sentit podem obtenir informació absoluta del nostre voltant i en tot moment saber en quina posició ens trobem. Quan s'utilitza la vista el participant tendeix a disminuir el desplaçament del seu tronc front al de la plataforma.

Per concloure, els dos mètodes més efectius alhora de mantenir el equilibri i la posició són l'ús de la vista i els sensor de localitzats en la musculatura. A més a més, si s'utilitzen aquests dos mètodes en conjunt es veu una millora important en l'estabilitat en l'espai del participant.





## Pressupost

| Nom                          | Descripció  | Quantitat | Preu (€/unitat) | Cost (€) |
|------------------------------|---|-----------|-----------------|----------|
| <b>W 25</b>                  | Elements d'unió   | 6         | 15.19           | 91.14    |
| <b>WRT 25</b>                | Elements d'unió   | 3         | 42.77           | 128.31   |
| <b>WER 30</b>                | Elements d'unió   | 4         | 93.78           | 375.12   |
| <b>WERT 32</b>               | Elements d'unió   | 1         | 95.17           | 95.17    |
| <b>FRR 25</b>                | Elements d'unió   | 5         | 35.60           | 178.00   |
| <b>GW 25</b>                 | Elements d'unió   | 20        | 39.20           | 784.00   |
| <b>GP 25</b>                 | Elements d'unió   | 6         | 39.20           | 235.20   |
| <b>P 25</b>                  | Elements d'unió   | 2         | 46.75           | 93.50    |
| <b>Tub d'acer inoxidable</b> | 3m; Ø25X2 mm  | 6         | 37.04           | 222.24   |
| <b>Maneta HV M8x35</b>       | Maneta per<br>facilitar<br>desplaçament de<br>els elements d'unió | 10        | 5.92            | 59.20    |
| <b>Maneta HV M8x45</b>       | Maneta per<br>facilitar<br>desplaçament de<br>els elements d'unió | 5         | 7.92            | 39.60    |
| <b>Maneta HV M8x60</b>       | Maneta per<br>facilitar<br>desplaçament de<br>els elements d'unió | 5         | 8.92            | 44.60    |

|   |  |    |         |         |
|---|--|----|---------|---------|
| <b>Galgues extensiomètriques</b>                    | Paquet de 10 unitats                           | 3  | 200.00  | 600.00  |
| <b>Amplificadors</b>                                | Amplificadors de senyal                        | 13 | 100.00  | 100.00  |
| <b>Font d'alimentació</b>                           | -  | 1  | 250.00  | 250.00  |
| <b>USB-6211</b>                                     | Sistema d'adquisició de dades de 16 canals     | 1  | 1030.00 | 1030.00 |
| <b>Arnes</b>  | Arnes de seguretat                             | 1  | 300     | 300     |
| <b>MTw Awinda Development Kit Lite MTw2-DK-LITE</b> | Sistema IMU amb dos trackers                   | 1  | 1140.00 | 1140.00 |
| <b>Strap set</b>                                    | Kit de corretges per a la col·locació dels IMU | 2  | 115.00  | 230.00  |
| <b>Base de fusta</b>                                | 3x0.8x0.25 m                                   | 1  | 85.00   | 85.00   |
| <b>Llisto de fusta</b>                              | 5x0.8x0.8 m                                    | 1  | 60.00   | 60.00   |
| <b>Cargols</b>                                      | Paquets de 100 unitats                         | 2  | 6.50    | 13.00   |
| <b>Esquadra</b>                                     | Esquadra de muntatge, paquets de 4 unitats     | 5  | 5.50    | 27.50   |
| <b>Platina</b>                                      | Platina per al muntatge de 10 m de longitud    | 1  | 8.50    | 8.50    |
| <b>Aïllament per tubs</b>                           | Ø28 mm, 1 m                                    | 2  | 2.00    | 4.00    |
| <b>Renthal FatBar Riser Bar</b>                     | Manillar                                       | 1  | 56.99   | 56.99   |

|   |  |     |              |          |
|---|--|-----|--------------|----------|
| <b>Selle San Marco Milano<br/>Glamour Saddle</b>      | Seient   | 1   | 10.99        | 10.99    |
| <b>Thomson<br/>Elite InLine Seatpost</b>              | Tija   | 1   | 62.99        | 62.99    |
| <b>Lizard Skins Northshore<br/>Lock-On Bonus Pack</b> | Grips  | 1   | 26.49        | 26.49    |
| <b>Cult x Vans Waffle Sole<br/>Flangeless Grips</b>   | Grips  | 1   | 12.99        | 12.99    |
| <b>Ritchey Comp 30 Deg<br/>Stem</b>                   | Potència   | 1   | 32.49        | 32.49    |
| <b>Hores d'enginyeria</b>                             | Hores dedicades al projecte, incloent des del disseny de l'estructura fins a la realització dels experiments | 400 | 25           | 10000.00 |
| <b>Mà d'obra</b>                                      | -  | 250 | 20           | 5000     |
|   |  |     | <b>Total</b> | 21397.02 |



## Bibliografia

1. Cossalter, V. et al. The effect of rider's passive steering impedance on motorcycle stability: Identification and analysis. A: *Meccanica*. 2011, Vol. 46, núm. 2, p. 279-292. ISSN 00256455. DOI 10.1007/s11012-010-9304-1.
2. Doria, a., Tognazzo, M. i Cossalter, V. The response of the rider's body to roll oscillations of two wheeled vehicles; experimental tests and biomechanical models. A: *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part D: Journal of Automobile Engineering*. 2012, Vol. 227, núm. 4, p. 561-576. ISSN 0954-4070. DOI 10.1177/0954407012457508.
3. Ninness, B. Spectral Analysis using the FFT. A: *Computer Engineering*. 2010, p. 1-10.
4. Happee, R., Vlugt, E. De i Schouten, A.C. Posture Maintenance of the Human Upper Extremity ; Identification of Intrinsic and Reflex Based Contributions. A: . 2009, Vol. 1, núm. 1, p. 1125-1135. ISSN 19464614. DOI 10.4271/2008-01-1888.
5. Sek, M. Frequency Analysis: Fast Fourier Transform , Frequency Spectrum. A: *Spectrum*. p. 1-12.
6. Koumans, Y. *Identifying intrinsic and reflexive properties of the low-back by inertial loading*.
7. Schwab, A.L., Meijaard, J.P. i Kooijman, J.D.G. Lateral dynamics of a bicycle with a passive rider model: stability and controllability. A: *Vehicle System Dynamics* [en línia]. 2012, Vol. 50, núm. 8, p. 1209-1224. ISSN 0042-3114. DOI 10.1080/00423114.2011.610898. Disponible a: <http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/00423114.2011.610898>.
8. Maki, B.E. Selection of perturbation parameters for identification of the posture-control system. A: *Medical & Biological Engineering & Computing*. 1986, Vol. 24, núm. 6, p. 561-568. ISSN 01400118. DOI 10.1007/BF02446257.
9. Micro-Measurements. Strain Gage Selection : Criteria , Procedures , Recommendations. A: *Strain Gages and Instruments* [en línia]. 2010, p. 49-64. Disponible a: [www.micro-measurements.com](http://www.micro-measurements.com).
10. Cossalter, V. *Motorcycle Dynamics*. 2006. ISBN 9781447532767.
11. P. Bretting, Gerald; P. Jansen, Henricus; Callahan, Michael; Bogler, John; Prunckle, J. Analysis of Bicycle Pitch-Over in a Controlled Environment. A: *SAE International*. 2010,
12. Van Drunen, P. et al. Modulation of intrinsic and reflexive contributions to low-back stabilization due to vision, task instruction, and perturbation bandwidth. A: *Experimental Brain Research*. 2015, Vol. 233, núm. 3, p. 735-749. ISSN 14321106. DOI 10.1007/s00221-014-4151-2.
13. Van Drunen, P. et al. Trunk stabilization during sagittal pelvic tilt: from trunk-on-pelvis to trunk-in-space due to vestibular and visual feedback. A: *Journal of Neurophysiology* [en línia]. 2016,

- Vol. 115, núm. 3, p. 1381-1388. ISSN 0022-3077. DOI 10.1152/jn.00867.2015. Disponible a: <http://jn.physiology.org/lookup/doi/10.1152/jn.00867.2015>.
14. Drunen, P. Van. *Low-Back Stabilization*. 2015. ISBN 9789462596795.
  15. Choe, J.S.K.Y.-S.C.K. Whole-body vibration analysis for assessment of railway vehicle ride quality. A: *Journal of Mechanical Science and Technology*. 2010,
  16. Brammer, Anthony J; Peterson, D.R. VIBRATION, MECHANICAL SHOCK, AND IMPACT. A: *Library*. 2004, p. 1-28. DOI 10.1.
  17. 1. Behari, N. i Noga, M. VIBRATION TRANSMISSIBILITY BEHAVIOUR OF SIMPLE BIODYNAMIC MODELS USED IN VEHICLE SEAT DESIGN. A: . 2016, DOI 10.4467/2353737XCT.16.281.6113.
  18. Lowry, R.D. i Bosley, W.J. PHYSIOLOGICAL AND MECHANICAL RESPONSE OF THE HUMAN TO LONGITUDINAL WHOLE-BODY VIBRATION AS DETERMINED BY SUBJECTIVE RESPONSE. A: . 1962, núm. 7231.
  19. Smith, C.C., McGehee, D.Y. i Healey, a. J. The Prediction of Passenger Riding Comfort From Acceleration Data. A: *Journal of Dynamic Systems, Measurement, and Control*. 1978, Vol. 100, núm. 1, p. 34. ISSN 00220434. DOI 10.1115/1.3426338.
  20. Więckowski, D. THE FUNDAMENTALS OF BIOMECHANICAL MODELLING IN TRANSPORT FACILITIES. A: .
  21. Jianghua, G. et al. Vertical vibration characteristics of seated human bodies and a biodynamic model with two degrees of freedom. A: *Science China Technological Sciences*. 2011, Vol. 54, núm. 10, p. 2776-2784. ISSN 16747321. DOI 10.1007/s11431-011-4461-6.
  22. DEMIĆ, M., LUKIĆ, J. i MILIĆ, Ž. Some Aspects of the Investigation of Random Vibration Influence on Ride Comfort. A: *Journal of Sound and Vibration* [en línia]. 2002, Vol. 253, núm. 1, p. 109-128. ISSN 0022460X. DOI 10.1006/jsvi.2001.4252. Disponible a: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0022460X0194252X>.
  23. Kardas-cinal, E. SPECTRAL ANALYSIS OF VIBRATIONS EXPERIENCED BY PASSENGER OF RAILWAY. A: . 2016,
  24. Griffin, M.J.J. *Human Response To Vibration* [en línia]. 2001. ISBN 9788578110796. DOI 10.1006/jsvi.2000.3402. Disponible a: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0022460X00934023>.
  25. 1. Rafter, E. The Mechanical Impedance of the Human Body in Sitting and Standing Position at Low Frequencies. A: *New York*. 1962,
  26. Ellington, A.A. et al. VIBRATION SUPPRESSED BICYCLE STRUCTURE. A: . 2006, Vol. 2, núm. 12.
  27. Yunusa, U. et al. STUDY OF VIBRATION AND ITS EFFECTS ON HEALTH OF A TWO WHEELER RIDER. A: *International Journal of Industrial Ergonomics* [en línia]. 2014, Vol. 9, núm. 1, p. 1-6. ISSN 01698141. DOI 10.1136/oemed-2016-103688. Disponible a: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ergon.2011.01.002%5Cnhttp://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/>

[7775782%5Cnhttp://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2351978915000165%5Cn](http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2351978915000165)  
[http://dx.doi.org/10.1016/j.trf.2013.12.010%5Cnhttp://ezproxy.usq.edu.au/login?url=http://.](http://dx.doi.org/10.1016/j.trf.2013.12.010)

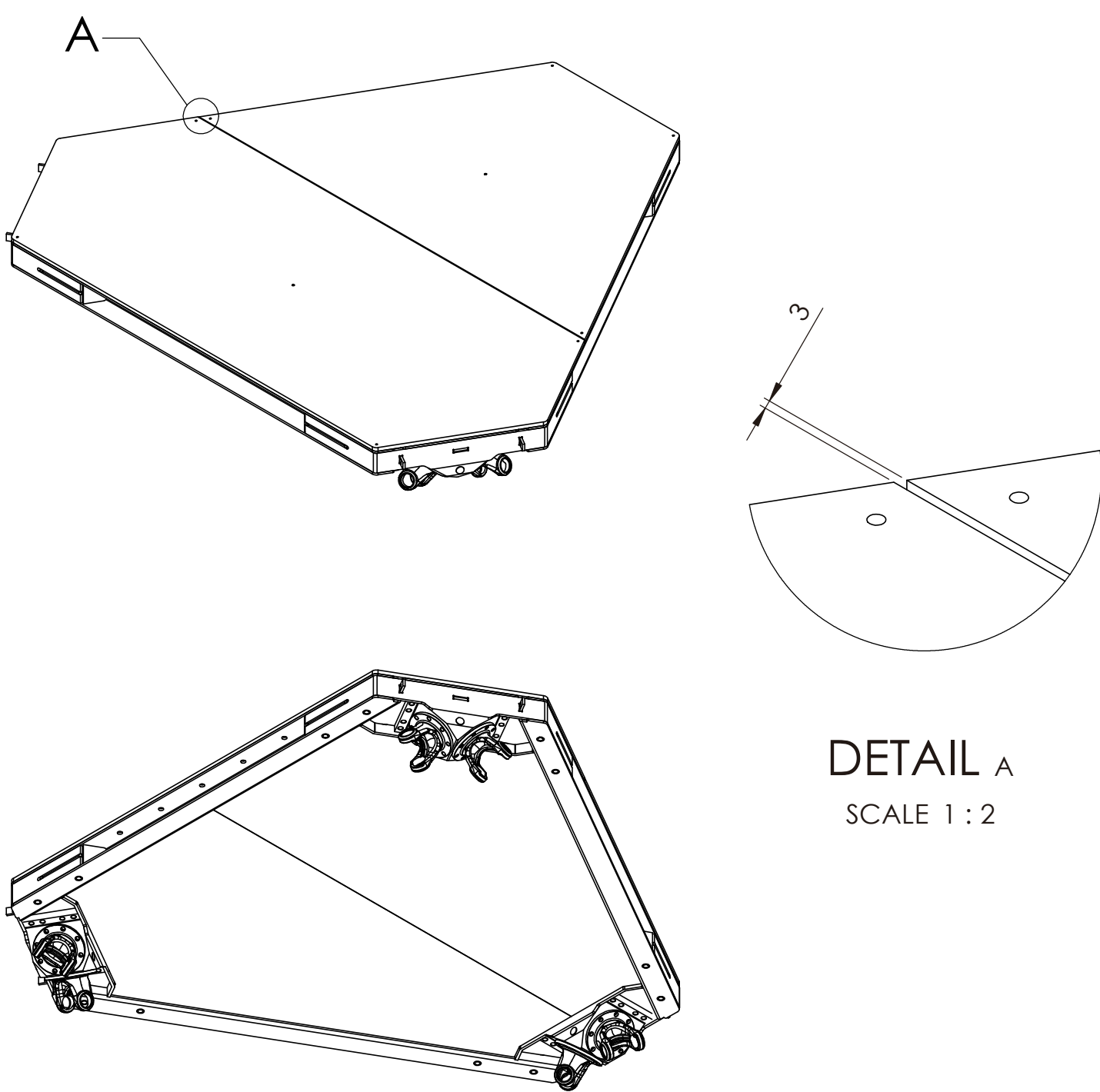
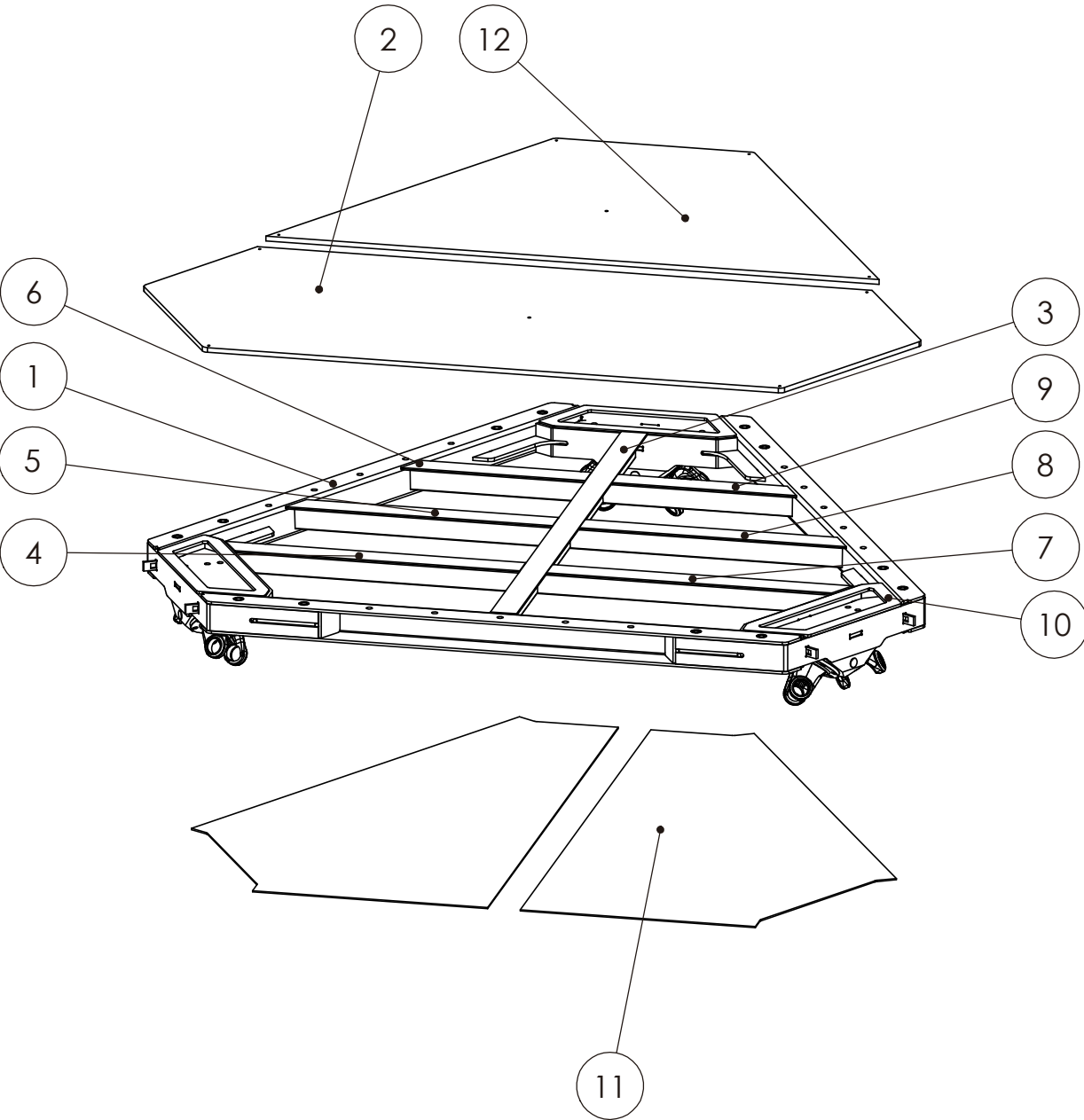






## **Annex A: Plànols de la plataforma**

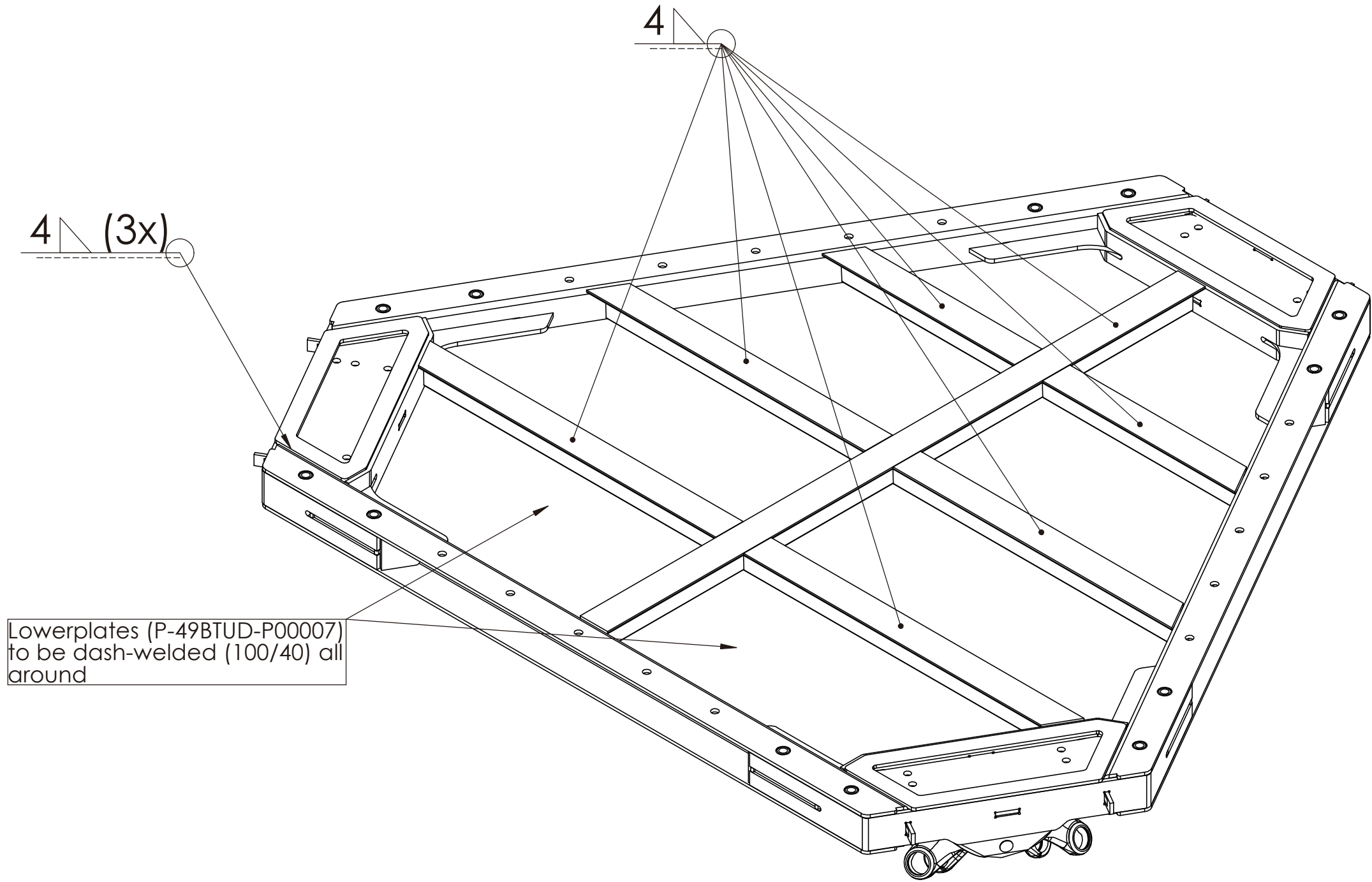




DETAIL A  
SCALE 1 : 2


| ITEM NO. | PART NUMBER           | DESCRIPTION          | QTY. |
|----------|-----------------------|----------------------|------|
| 1        | eM6-670-2000-P00005   | Topframe             | 1    |
| 2        | P-49BTUD-P00001       | Top plate            | 1    |
| 3        | P-49BTUD-P00002       | Support rib          | 1    |
| 4        | P-49BTUD-P00003       | Support rib 2        | 1    |
| 5        | P-49BTUD-P00004       | Support rib 3        | 1    |
| 6        | P-49BTUD-P00005       | Support rib 4        | 1    |
| 7        | MirrorP-49BTUD-P00003 | TUD top frame        | 1    |
| 8        | MirrorP-49BTUD-P00004 | Mirror Support rib 3 | 1    |
| 9        | MirrorP-49BTUD-P00005 | Mirror Support rib 4 | 1    |
| 10       | P-49BTUD-P00006       | joint fill plate     | 3    |
| 11       | P-49BTUD-P00007       | Bottom plate         | 2    |
| 12       | P-49BTUD-P00008       | TUD top plate 2      | 1    |

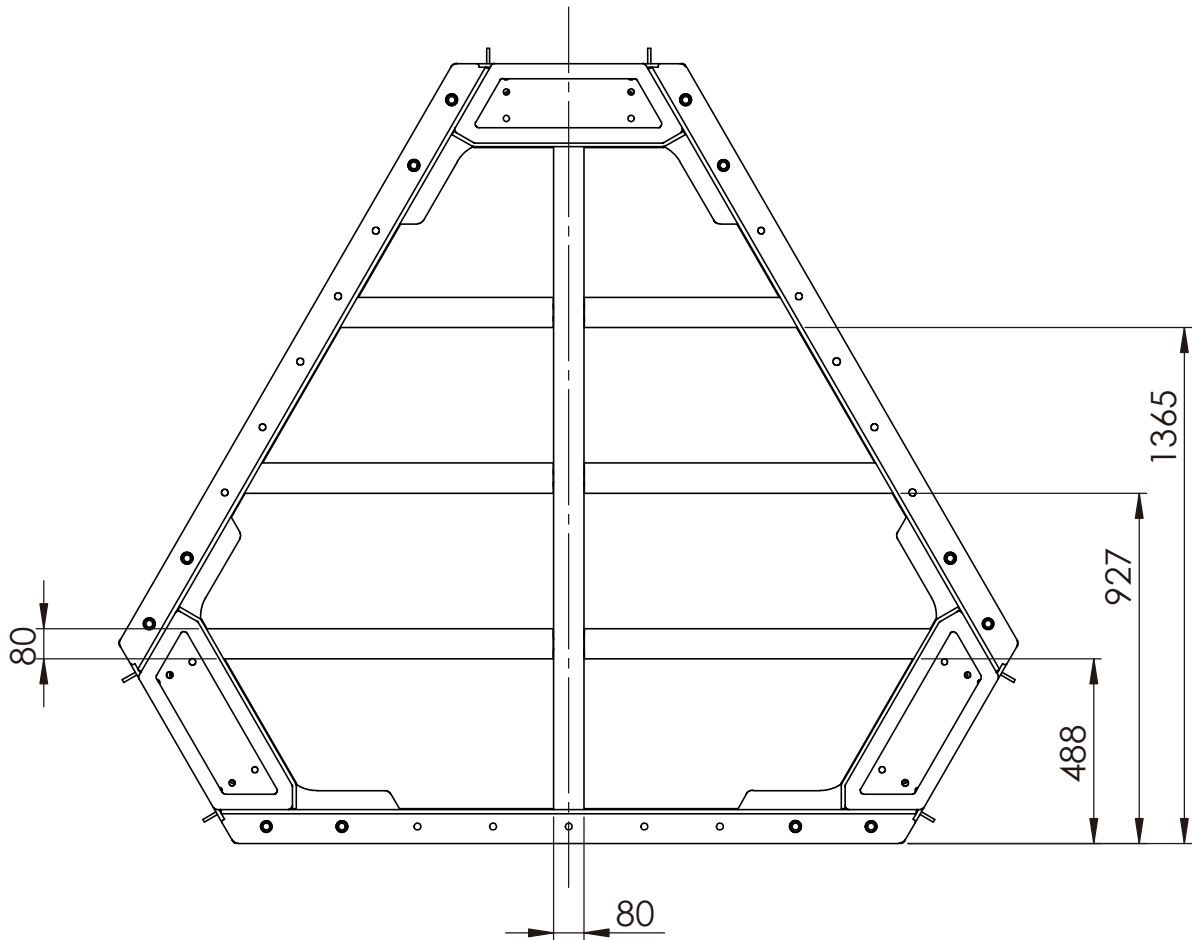
|   |                     |   |                             |                                  |
|---|---------------------|---|-----------------------------|----------------------------------|
| General roughness according<br>NEN-EN-ISO 1302:2002 | $\sqrt{Ra}$         | stated<br>Tolerances unless otherwise<br>DIN ISO 2768-m | A                           | NEN-EN-ISO 1101                  |
| Material  | Size                |   |                             |                                  |
| Thickness   | mm                  | Weight  | g                           |                                  |
| Surface treatment                                   |                     |   |                             |                                  |
| Description<br>TUD top frame                        | American projection |   | Scale<br>1:20<br>Unit<br>mm |                                  |
| Drawing number<br>P-49BTUD-A00003                   |                     | Designer<br>TST   | Approved<br>Date            | Sheet 1 of 3<br>Revision<br>A-01 |
| Date 26-8-2016                                      |                     | Date  | Size<br>A3                  |                                  |

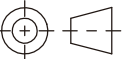



Lowerplates (P-49BTUD-P00007)  
to be dash-welded (100/40) all  
around

Remarks:  
- Remove sharp edges

|   |  |  |                  |   |                             |  |  |  |  |  |  |
|---|--|--|------------------|---|-----------------------------|--|--|--|--|--|--|
| General roughness according $\sqrt{Ra}$   |  | stated Tolerances unless otherwise           |                  | A <table><tr><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td></tr></table> NEN-EN-ISO 1101 |                             |  |  |  |  |  |  |
|   |  |  |                  |   |                             |  |  |  |  |  |  |
|   |  |  |                  |   |                             |  |  |  |  |  |  |
| NEN-EN-ISO 1302:2002  |  | DIN ISO 2768-m                               |                  | <table><tr><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td></tr></table> |                             |  |  |  |  |  |  |
|   |  |  |                  |   |                             |  |  |  |  |  |  |
|   |  |  |                  |   |                             |  |  |  |  |  |  |
| Material  |  | Size   |                  |   |                             |  |  |  |  |  |  |
| Thickness mm  |  | Weight g                                     |                  |   |                             |  |  |  |  |  |  |
| Surface treatment   |  |  |                  |   |                             |  |  |  |  |  |  |
| Description<br><br><b>TUD top frame</b>   |  |  |                  | American projection<br>   | Scale<br><b>1:20</b>        |  |  |  |  |  |  |
|   |  |  |                  |   | Unit<br>mm                  |  |  |  |  |  |  |
|  <b>cruden</b> |  | Drawing number<br><br><b>P-49BTUD-A00003</b> |                  |   |                             |  |  |  |  |  |  |
|   |  | Designer <b>TST</b><br>Date <b>26-8-2016</b> | Approved<br>Date | Sheet <b>2</b> of <b>3</b>  | Revision<br><br><b>A-01</b> |  |  |  |  |  |  |
|   |  |  |                  | Size <b>A3</b>  |                             |  |  |  |  |  |  |



|   |  |  |                  |  |                      |  |  |  |  |  |  |
|---|--|--|------------------|--|----------------------|--|--|--|--|--|--|
| General roughness according $\sqrt{Ra}$   |  | Tolerances unless otherwise stated           |                  | A <table><tr><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td></tr></table> NEN-EN-ISO 1101                      |                      |  |  |  |  |  |  |
|   |  |  |                  |  |                      |  |  |  |  |  |  |
|   |  |  |                  |  |                      |  |  |  |  |  |  |
| NEN-EN-ISO 1302:2002  |  | DIN ISO 2768-m                               |                  | <table><tr><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td></tr></table>                      |                      |  |  |  |  |  |  |
|   |  |  |                  |  |                      |  |  |  |  |  |  |
|   |  |  |                  |  |                      |  |  |  |  |  |  |
| Material  |  | Size   |                  |  |                      |  |  |  |  |  |  |
| Thickness mm  |  | Weight g                                     |                  |  |                      |  |  |  |  |  |  |
| Surface treatment   |  |  |                  |  |                      |  |  |  |  |  |  |
| Description<br><br><b>TUD top frame</b>   |  |  |                  | American projection<br> | Scale<br><b>1:20</b> |  |  |  |  |  |  |
|   |  |  |                  |  | Unit<br>mm           |  |  |  |  |  |  |
|  <b>cruden</b> |  | Drawing number<br><br><b>P-49BTUD-A00003</b> |                  |  |                      |  |  |  |  |  |  |
|   |  | Designer <b>TST</b><br>Date <b>26-8-2016</b> | Approved<br>Date | Sheet <b>3</b> of <b>3</b>   | Revision             |  |  |  |  |  |  |
|   |  |  |                  | Size <b>A3</b>   | <b>A-01</b>          |  |  |  |  |  |  |

## Annex B: Càlculs

Per a realitzar els càlculs referents a la selecció de les galgues extensiomètriques, s'ha decidit utilitzar interfícies d'alumini 70XX amb un mòdul de Young de 72 GPa. A més, s'ha estipulat que la massa màxima permesa en el dispositiu serà de 100 Kg. També s'ha fet una assumpció de que la gravetat són  $10 \text{ m/s}^2$ , per a facilitar els càlculs.

### B.1. Seient

Sabent que el tub del seient te un diàmetre exterior de 25 mm i un diàmetre interior de 23 mm. Així com també la seua llargada,  $L=410 \text{ mm}$ . Podem calcular la deformació que patirà i així podrem saber el tipus de galga que necessitem mitjançant les següents equacions:

$$P = m \cdot g \quad (\text{Eq. B.1})$$

$$A = \frac{\pi}{4} (d_e^2 - d_i^2) \quad (\text{Eq. B.2})$$

$$\sigma = \frac{F}{A} \quad (\text{Eq. B.3})$$

$$\varepsilon = \frac{\sigma}{E} \quad (\text{Eq. B.4})$$

$$P = 100 \cdot 10 = 1000 \text{ N} \quad (\text{Eq. B.2})$$

$$A = \frac{\pi}{4} (25^2 - 23^2) = 75.39 \text{ mm}^2 \quad (\text{Eq. B.2})$$

$$\sigma = \frac{1000}{75.39} = 13.26 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \quad (\text{Eq. B.3})$$

$$\varepsilon = \frac{13.26}{72000} = 1.84 \cdot 10^{-4} \quad (\text{Eq. B.4})$$

## B.2. Manillar

Les dimensions del manillar són les següents: la longitud fins al punt d'aplicació de la força són 292 mm, el radi exterior es de 11.4 mm i el radi interior de 10 mm. La força màxima esperada en el manillar és de 400 N.

$$S = \frac{\pi \cdot (r_e^4 - r_i^4)}{4r_e} \quad (\text{Eq. B.5})$$

$$\sigma = \frac{F \cdot L_p}{S} \quad (\text{Eq. B.6})$$

$$\varepsilon = \frac{\sigma}{E} \quad (\text{Eq. B.7})$$

$$S = \frac{\pi \cdot (11.4^4 - 10^4)}{4 \cdot 11.4} = 474.66 \text{ mm}^3 \quad (\text{Eq. B.5})$$

$$\sigma = \frac{400 \cdot 292}{474.66} = 246.07 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \quad (\text{Eq. B.6})$$

$$\varepsilon = \frac{246.07}{72000} = 3.41 \cdot 10^{-3} \quad (\text{Eq. B.7})$$

## B.3. Pedals

Per als pedals s'utilitzen les mateixes equacions que en el manillar. I les dimensions són: la longitud fins al punt d'aplicació de la força són 160 mm, el radi exterior es de 12.5 mm i el radi interior de 10.5 mm. La força màxima esperada en els pedals és de 400 N.

$$S = \frac{\pi \cdot (12.5^4 - 10.5^4)}{4 \cdot 12.5} = 770.25 \text{ mm}^3 \quad (\text{Eq. B.5})$$

$$\sigma = \frac{400160}{770.25} = 83.09 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \quad (\text{Eq. B.6})$$

$$\varepsilon = \frac{83.09}{72000} = 1.15 \cdot 10^{-3} \quad (\text{Eq. B.7})$$

## **Annex C: Sol·licitud al comitè ètic de TUDelft**

### **C.1. Informe d'inspecció**



Delft University of Technology  
**INSPECTION REPORT FOR DEVICES TO BE USED IN CONNECTION  
WITH HUMAN SUBJECT RESEARCH**

This report should be completed for every experimental device that is to be used in interaction with humans and that is not CE certified or used in a setting where the CE certification no longer applies<sup>1</sup>. **The first part** of the report has to be completed by the **researcher and/or a responsible technician**. Then, the safety officer (AMA – Arbo en milieu adviseur) of the corresponding faculty has to inspect the device and fill in the second part of this form. Please visit <https://intranet.tudelft.nl/arbeidsomstandigheden/arbeidsomstandigheden/overzicht-amas/> for more information.

Note that in addition to this, all experiments that involve human subjects have to be approved by the Human Research Ethics Committee of TU Delft. You can find more information on the procedures at <http://www.hrec.tudelft.nl/>

**Device identification (name, location):** Bicycle Mock up, Automotive area (next to the bike lab)

**Configurations inspected<sup>2</sup>:**

**Type of experiment to be carried out on the device:<sup>3</sup>**

**Name(s) of applicants(s):** George Dialynas, Arend Schwab & Riender Happee

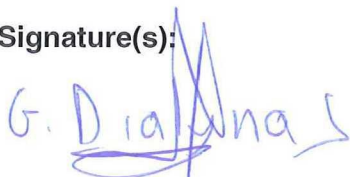
**Job title(s) of applicants(s):** PhD researcher, Assistant & Associate Professors

(Please note that the inspection report should be filled in by a TU Delft employee. In case of a BSc/MSc thesis project, the responsible supervisor has to fill in and sign the inspection report.)

**Date:**

07/06/2017

**Signature(s):**



- 
- 1 Modified, altered, used for a purpose not reasonably foreseen in the CE certification
  - 2 If the devices can be used in multiple configurations, otherwise insert NA
  - 3 e.g. driving, flying, VR navigation, physical exercise, ...

## Setup summary

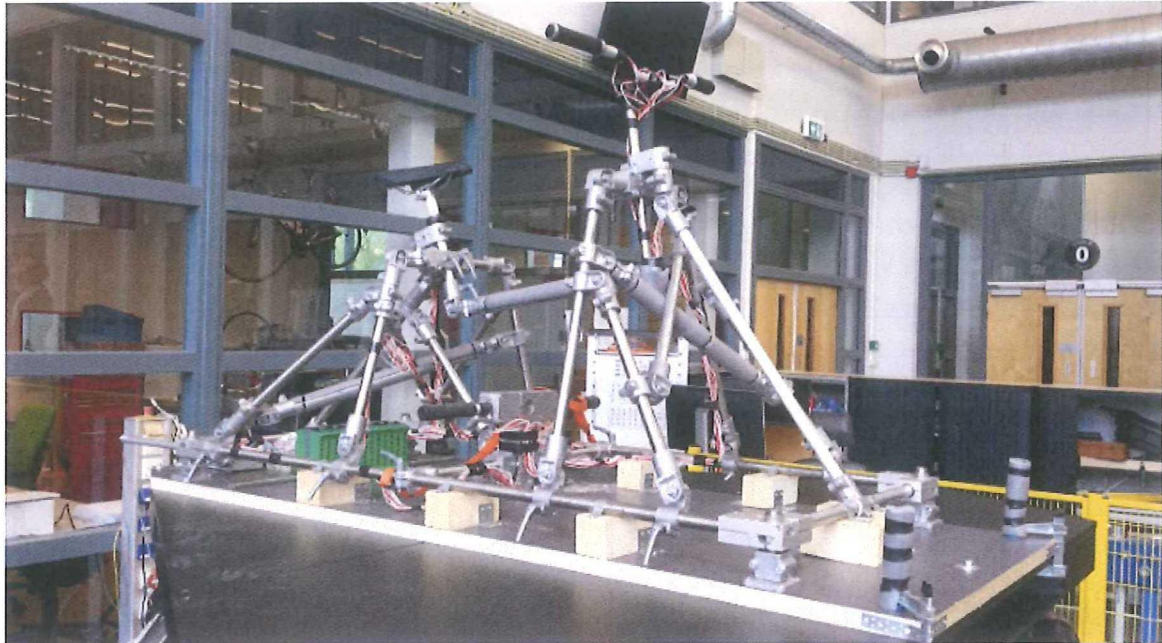


Fig.1 Bicycle mock-up

### Mechanical part of the setup

The experimental setup mainly consist of two parts a bicycle mock up and a hexapod platform. The bicycle mock up represent the structure of a real bike. It is made from steel tubes and solid aluminum clamps. It has four major parts, the seat post assembly, the foot pegs assembly, the handlebar assembly and a wooden base.

The seat post and handlebar assembly consist of a structure capable of distributing the load to the base effectively. The foot pegs consist of a T-shape assembly. The mock up is fitted on a wooden base with the help of metal bases.

The whole structure is stiff, stable and has a certain degree of adjustability, not only in the height of the seat or handlebars but also in the position of the foot-pegs and the stack and reach dimensions.

### Electromechanical part of the setup

The interaction points are instrumented with strain gauges, enabling us to measure the force exerted by the rider in each moment. In addition, the relative position of the rider's trunk to the frame will be measured using an IMU system. Amplifiers and a data acquisition system from LabVIEW are also mounted at the back of the platform with metal stripes.



## Hexapod platform



Fig.2 Hexapod platform

The Hexapod platform will be responsible for generating 3D motion perturbations in a frequency range of 0.5- 10 Hz. Amplitude and oscillation frequency are selected based on rider comfort . It should be mentioned that the operator can shut down the moving platform at any time with a safety switch.

### Hexapod+ Bicycle mock up



Fig.3 Bicycle mock up mounted on the top of the hexapod

As a final step the bicycle mock up fig1 is mounted on the top aluminum plate of the hexapod platform fig.2. This is achieved with 5 screws M12 6.6 distributed on the corners and middle section of the metal plate. Two clamps are also placed on the front as a second safety measure.

### Safety measures

To avoid any accidents that might occur from loss of balance during the experiments. Two safety measures are in place. First measure is a stripe around his feet, and second measure is a safety harness around his upper torso. The military harness will be hanged from the sealing. In case the mock up fail the participant will hang freely from the sealing avoiding any injuries that might occur from falling. A similar harness as shown at figure 4 is in place.



Fig.4 Military harness

## Risk checklist

Please fill in the following checklist and consider these hazards that are typically present in many research setups. If a hazard is present, please describe how it is dealt with.

Also, mention any other hazards that are present.

| Hazard type   | Present | Hazard source         | Mitigation measures  |
|---|---------|-----------------------|--|
| Mechanical (sharp edges, moving equipment, etc.)                          | yes     | Hexapod platform      | A fence is placed around the platform. Only authorized people can pass during the experiments. A safety switch is located next to the operator |
| Electrical  | yes     | Strain gauges & wires | Wires& strain gauges are isolated  |
| Structural failure  | yes     | Bicycle mock up       | Structural tubes close to seat are covered with plastic ferrosol. In case of failure rider leg are protected.                                  |
| Touch Temperature   | no      |                       |  |
| Electromagnetic radiation   | no      |                       |  |
| Ionizing radiation  | no      |                       |  |
| (Near-)optical radiation (lasers, IR-, UV-, bright visible light sources) | no      |                       |  |
| Noise exposure  | no      |                       |  |
| Materials (flammability, offgassing, etc.)                                | no      |                       |  |
| Chemical processes  | no      |                       |  |
| Fall risk   | yes     | Hexapod platform      | A military safety harness is used. Participant is hang through the sealing. Not possible to fall   |
| Other:  |         |                       |  |
| Other:  |         |                       |  |
| Other:  |         |                       |  |

## Appendices

Manuals and CaD of the Mock up can be found here:

[https://drive.google.com/open?id=0B2FwvRQEH\\_OxN2pKSW9CSFhSeWc](https://drive.google.com/open?id=0B2FwvRQEH_OxN2pKSW9CSFhSeWc)

## C.2. Llista de verificació



# Delft University of Technology

## ETHICS REVIEW CHECKLIST FOR HUMAN RESEARCH

*This checklist should be completed for every research study that involves human participants and should be submitted before potential participants are approached to take part in your research study.*

In this checklist we will ask for additional information if need be. Please attach this as an Annex to the application.

*Please upload the documents (go to [this page](#) for instructions).*

*Thank you and please check our [website](#) for guidelines, forms, best practices, meeting dates of the HREC, etc.*

### I. Basic Data

|  |  |
|--|--|
| <b>Project title:</b>                      | <b>The response of the riders body to rotational &amp; translational motions of two wheelers rider</b> |
| <b>Name(s) of researcher(s):</b>           | <b>George Dialynas</b>   |
| <b>Research period (planning)</b>          | <b>1 July-September 2017</b>   |
| <b>E-mail contact person</b>               | <b>g.dialynas@tudelft.nl</b>   |
| <b>Faculty/Dept.</b>                       | <b>3Me/Biomechanical engineering</b>   |
| <b>Position researcher(s):<sup>1</sup></b> | <b>PhD</b>   |
| <b>Name of supervisor (if applicable):</b> | <b>Arend Schwab</b>  |
| <b>Role of supervisor (if applicable):</b> | <b>Riender Happee</b>  |

### II. A) Summary Research

The research is aiming to identify the biomechanical properties of the rider's body from laboratory tests. Special test equipment has been developed; it is a bicycle mock up driven by a hexapod that generates oscillations in the range 0.5–10 Hz. The bicycle mock up is instrumented with an imu and a combination of strain gauges allowing us to measure the input motion and the response of the rider's body. The response of the rider's body will be represented in the frequency domain by means of frequency response functions: the frequency response functions will describe the motion of the rider's trunk and upper torso relative to the platform, and the mechanical impedance of the rider body. This will be described by non-parametric system identification methods. The force frequency response functions can be further used from other researchers to identify the parameters of lumped mass biomechanical models, suited to integration with the multi-body model of the bicycle.

<sup>1</sup> For example: student, PhD, post-doc



## B) Risk assessment

### III. Checklist

|  | Yes                                 | No                                  |
|--|-------------------------------------|-------------------------------------|
| 1. Does the study involve participants who are particularly vulnerable or unable to give informed consent? (e.g., children, people with learning difficulties, patients, people receiving counselling, people living in care or nursing homes, people recruited through self-help groups). | <input type="checkbox"/>            | <input checked="" type="checkbox"/> |
| 2. Are the participants, outside the context of the research, in a dependent or subordinate position to the investigator (such as own children or own students)? <sup>2</sup>  | <input checked="" type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/>            |
| 3. Will it be necessary for participants to take part in the study without their knowledge and consent at the time? (e.g., covert observation of people in non-public places).   | <input type="checkbox"/>            | <input checked="" type="checkbox"/> |
| 4. Will the study involve actively deceiving the participants? (e.g., will participants be deliberately falsely informed, will information be withheld from them or will they be misled in such a way that they are likely to object or show unease when debriefed about the study).       | <input type="checkbox"/>            | <input checked="" type="checkbox"/> |
| 5. Will the study involve discussion or collection of information on sensitive topics? (e.g., sexual activity, drug use, mental health).   | <input type="checkbox"/>            | <input checked="" type="checkbox"/> |
| 6. Will drugs, placebos, or other substances (e.g., drinks, foods, food or drink constituents, dietary supplements) be administered to the study participants?   | <input type="checkbox"/>            | <input checked="" type="checkbox"/> |
| 7. Will blood or tissue samples be obtained from participants?   | <input type="checkbox"/>            | <input checked="" type="checkbox"/> |
| 8. Is pain or more than mild discomfort likely to result from the study?   | <input type="checkbox"/>            | <input checked="" type="checkbox"/> |
| 9. Does the study risk causing psychological stress or anxiety or other harm or negative consequences beyond that normally encountered by the participants in their life outside research?   | <input type="checkbox"/>            | <input checked="" type="checkbox"/> |
| 10. Will financial inducement (other than reasonable expenses and compensation for time) be offered to participants?   | <input type="checkbox"/>            | <input checked="" type="checkbox"/> |

Important:  
if your answered 'yes' to any of the questions mentioned above, please submit  
the full application form to HREC  
(see: [HREC website](#) for forms or examples).

<sup>2</sup> **Important note concerning questions 1 and 2.** Some intended studies involve research subjects who are particularly vulnerable or unable to give informed consent. Research involving participants who are in a dependent or unequal relationship with the researcher or research supervisor (e.g., the researcher's or research supervisor's students or staff) may also be regarded as a vulnerable group. If your study involves such participants, it is essential that you safeguard against possible adverse consequences of this situation (e.g., allowing a student's failure to complete their participation to your satisfaction to affect your evaluation of their coursework). This can be achieved by ensuring that participants remain anonymous to the individuals concerned (e.g., you do not seek names of students taking part in your study). If such safeguards are in place, or the research does not involve other potentially vulnerable groups or individuals unable to give informed consent, it is appropriate to check the NO box for questions 1 and 2. Please describe corresponding safeguards in the summary field.

- |   | Yes                                 | No                                  |
|---|-------------------------------------|-------------------------------------|
| 11. Will the experiment collect and store videos, pictures, or other identifiable data of human subjects? <sup>3</sup>  | <input type="checkbox"/>            | <input checked="" type="checkbox"/> |
| If "yes", are you sure you follow all requirements of the applicable data protection legislation?<br>(Please provide proof by sending us a copy of the informed consent form).        |                                     |                                     |
|   | <input type="checkbox"/>            | <input type="checkbox"/>            |
| 12. Will the experiment involve the use of devices that are not 'CE' certified?   | <input checked="" type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/>            |
| Only If 'yes': continue with the following questions:   |                                     |                                     |
| • Was the device built in-house?  | <input checked="" type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/>            |
| • Was it inspected by a safety expert at TU Delft?<br>(Please provide device report, see: <a href="#">HREC website</a> )  | <input type="checkbox"/>            | <input checked="" type="checkbox"/> |
| • If it was not built in house and not CE-certified, was it inspected by some other, qualified authority in safety and approved?<br>(Please provide records of the inspection).       | <input type="checkbox"/>            | <input checked="" type="checkbox"/> |
| 13. Has or will this research be submitted to a research ethics committee other than this one? (if so, please provide details and a scan of the approval or submission if available). | <input type="checkbox"/>            | <input checked="" type="checkbox"/> |

#### IV. Enclosures (tick if applicable)

- ☒ Full proposal (if 'yes' to any of the questions 1 until 10) ✓
- ☒ Informed consent form (if 'yes' to question 11)
- ☒ Device report (if 'yes' to question 12) ✓
- ☒ Approval other HREC-committee (if 'yes' to question 13) Submit today
- ☐ Any other information which might be relevant for decision making by HREC

#### V. Signature(s)

Signature(s) of researcher(s)

Date: 07/06/2017

Signature research supervisor (if applicable)

Date: 07/06/2017

 pending

<sup>3</sup> Note: you have to ensure that collected data is safeguarded physically and will not be accessible to anyone outside the study. Furthermore, the data has to be de-identified if possible and has to be destroyed after a scientifically appropriate period of time.

# Appendix 1: Privacy and data protection

Please fill this in if you have answered 'yes' to question 11 in the checklist

---

- a. Are the research data made anonymous? If no, please explain.
- b. Will directly identifiable data (such as name, address, telephone number, and so on) be kept longer than 6 months? If yes, will the participants give written permission to store their information for longer than 6 months?
- c. Who will have access to the data which will be collected?
- d. Will the participants have access to their own data? If no, please explain.
- e. Will covert methods be used? (*e.g. participants are filmed without them knowing*)
- f. Will any human tissue and/or biological samples be collected? (*e.g. urine*)

### **C.3. Sol·licitud ètica**



# Research Ethics Application

Please fill in the checklist first if you have not done so already. Please complete this form digitally and send it the Ethics Committee.

**Date of Submission:** 7-6-2017

**Project Title:** The response of the riders body to rotational & translational motions of two wheelers rider

**Name(s) of researcher(s):** George Dialynas, Toni Prats

**Name of supervisor (if applicable):** Arend Schwab & Riender Happee

## Contact Information

**Department:** Biomechanical engineering

**Telephone number:** 0638449868 &

**E-mail address:** g.dialynas@tudelft.nl

**Contact information of external partners (if applicable):** None

## Summary



The research is aiming to identify the biomechanical properties of the rider's body from laboratory tests. Special test equipment has been developed; it is a bicycle mock up driven by a hexapod that generates oscillations in the range 0.5–10 Hz. The bicycle mock up is instrumented with an imu and a combination of strain gauges allowing us to measure the input motion and the response of the rider's body. The response of the rider's body will be represented in the frequency domain by means of frequency response functions: the frequency response functions will describe the motion of the rider's trunk and upper torso relative to the platform, and the mechanical impedance of the rider body. This will be described by non-parametric system identification methods. The force frequency response functions can be further used from other researchers to identify the parameters of lumped mass biomechanical models, suited to integration with the multi-body model of the bicycle.

\*As a safety measure the feet of the rider are striped to the footpegs to maintain the lower body parts constrained to the mock up. A military safety harness is also used to hang the riders body to the sealing. These safety measures assure that the rider will not fall during the experiments and also in case the bicycle mock up fails. A safety switch is also present to shut down the hexapod immediately if necessary.

## Research

**R.1. What is the research question? Please indicate what scientific contributions you expect from the research.**

Enter your research question here.

**R.2. What will the research conducted be a part of?**

- ☐ Bachelor's thesis
- ☐ Master's thesis
- ☒ PhD thesis
- ☐ Research skills training

Other, namely: Enter what the research is part of here.

**R.3. What type of research is involved?**

- ☐ Questionnaire
- ☐ Observation
- ☒ Experiment

Other, namely: Enter the type of research here.

**R.4. Where will the research be conducted?**

- ☐ Online
- ☒ At the university
- ☐ Off-campus / non-university setting: Enter which setting here.

Other, namely: Enter where the research will be conducted here.

**R.5. On what type of variable is the research based?**

*Give a general indication, such a questionnaire scores, performance on tasks, etc.*

Impedance and movement of riders body

**R.6. If the research is experimental, what is the nature of the experimental manipulation?**

Laboratory/controlled experiments

**R.7. Why is the research socially important? What benefits may result from the study?**

Bikes and motorcycle have oscillatory modes (capsize,wobble etc). This modes can lead to an accident. Analysing the mechanical impedance of the rider body will saw if the rider is able to handle this oscillatory modes . More specific, which frequencies of these modes are mostly dangerous for the rider. The impact to the society will become by either designing new safety system or optimizing existing bicycle and moto designs.

**R.8. Are any external partners involved in the experiment? If so, please name them and describe the way they are involved in the experiment.**

none

## Participants

**Pa.1. What is the number of participants needed? Please specify a minimum and maximum.**

Minimum: 20

Maximum: 30



**Pa.2.a. Does the study involve participants who are particularly vulnerable or unable to give informed consent?** (*e.g., children, people with learning difficulties, patients, people receiving counselling, people living in care or nursing homes, people recruited through self-help groups*)

no

**Pa.2.b. If yes and unable to give informed consent, has permission been received from caretakers/parents?**  
Enter if permission from the caretakers/parents can be received here.

**Pa.3. Will the participants (or legal guardian) give written permission for the research with an 'Informed Consent' form that states the nature of the research, its duration, the risk, and any difficulties involved? If no, please explain.**

No, the oscillations that the rider will experience are designed based on ISO standards. The oscillations are in the comfort zone of the rider. There is no health risk involved.

**Pa.4. Are the participants, outside the context of the research, in a dependent or subordinate position to the investigator (such as own children or students)? If yes, please explain.**

no

**Pa.5. How much time in total (maximum) will a participant have to spend on the activities of the study?**  
20 min per participant

**Pa.6. Will the participants have to take part in multiple sessions? Please specify how many and how long each session will take.**

6 motions will be performed 45 sec between every motion will be given to the rider to relax

**Pa.7. What will the participants be asked to do?**

Sit on the bicycle mock up. In the first scenario their body will be freely. In the second they will ask to co-contract their muscles.

**Pa.8. Will participants be instructed to act differently than normal or be subject to certain actions which are not normal?** (*e.g. subject to stress inducing methods*)

no

**Pa.9. What are the possible (reasonably foreseeable) risks for the participants? Please list the possible harms if any.**

Maybe, dizziness but as mention the oscillation the the rider is experienced are in the comfort zone.

**Pa.10. Will extra precautions be taken to protect the participants? If yes, please explain.**

As a safety measure the feet of the rider are striped to the footpegs to maintain the lower body parts constrained to the mock up. A military safety harness is also used to hang the riders body to the sealing. These safety measures assure that the rider will not fall during the experiments and also in cause the bicycle mock up fails. A safety switch is also present to shut down the hexapod immediately if necessary.

**Pa.11. Are there any positive consequences for a participant by taking part in the research? If yes, please explain.**

no

**Pa.12. Will the participants (or their parents/primary caretakers) be fully informed about the nature of the study? If no, please explain why and state if they will receive all information after participating.**

No, it is similar to riding their bike.

**Pa.13. Will it be made clear to the participants that they can withdraw their cooperation at any time?**

Yes, they can withdraw at any time

**Pa.14. Where can participants go with their questions about the research and how are they notified of this?**

They can send me an email: g.dialynas@tudelft.nl

**Pa.15. Will the participants receive a reward?**

- ☐ Travel expenses  
☐ Compensation per hour  
☒ Nothing

Other, namely: Enter the reward here.

**Pa.16. How will participants be recruited?**

Invitation via email or poster

## Privacy

**Pr.1. Are the research data made anonymous? If no, please explain.**

No

**Pr.2. Will directly identifiable data (such as name, address, telephone number, and so on) be kept longer than 6 months? If yes, will the participants give written permission to store their information for longer than 6 months?**

no

**Pr.3. Who will have access to the data which will be collected?**

Researchers at TU DELFT

**Pr.4. Will the participants have access to their own data? If no, please explain.**

If they want= yes

**Pr.5. Will covert methods be used? (e.g. participants are filmed without them knowing)**

No

**Pr.6. Will any human tissue and/or biological samples be collected? (e.g. urine)**

no

## Documents

Please attach the following documents to the application:

- Text used for ads (to find participants);
- Text used for debriefings;
- Form of informed consent for participants;
- Form of consent for other agencies when the research is conducted at a location (such as a hospital or school).



## C.4. Sol·licitud per participants

## **The response of the rider's body to roll oscillations of two wheeled vehicles; experimental tests**

Dear 3mE student,

We are conducting experiments as part of a research study to increase our understanding of how the rider's body responds to rotational and translational oscillations when riding a bicycle. More specifically, we will try to identify the mechanical impedance and resonance of the rider's body when subjected to these oscillations. As a participant you will be requested to wear a safety harness and sit on the bicycle mock-up as shown in fig.1 below.



*Fig.1 Bicycle mock up mounted in the top of a hexapod*

The experiment takes around 30 minutes. There is no compensation for participating in this study. However, your participation will be a valuable addition to our research and findings could lead to greater public understanding of human machine interaction. If you are willing to participate please send us an email. Suggest a day and time that suits you and I'll do my best to be available. If you have any questions please do not hesitate to ask.

Leader of the project: **George Dialynas:** [g.dialynas@tudelft.nl](mailto:g.dialynas@tudelft.nl)

Intern: **Toni Prats:** [Gtakula07@gmail.com](mailto:Gtakula07@gmail.com)

## **Annex D: Taula de Participants**

### **D.1. Taula Tipus**

**EXPERIMENT:.....**

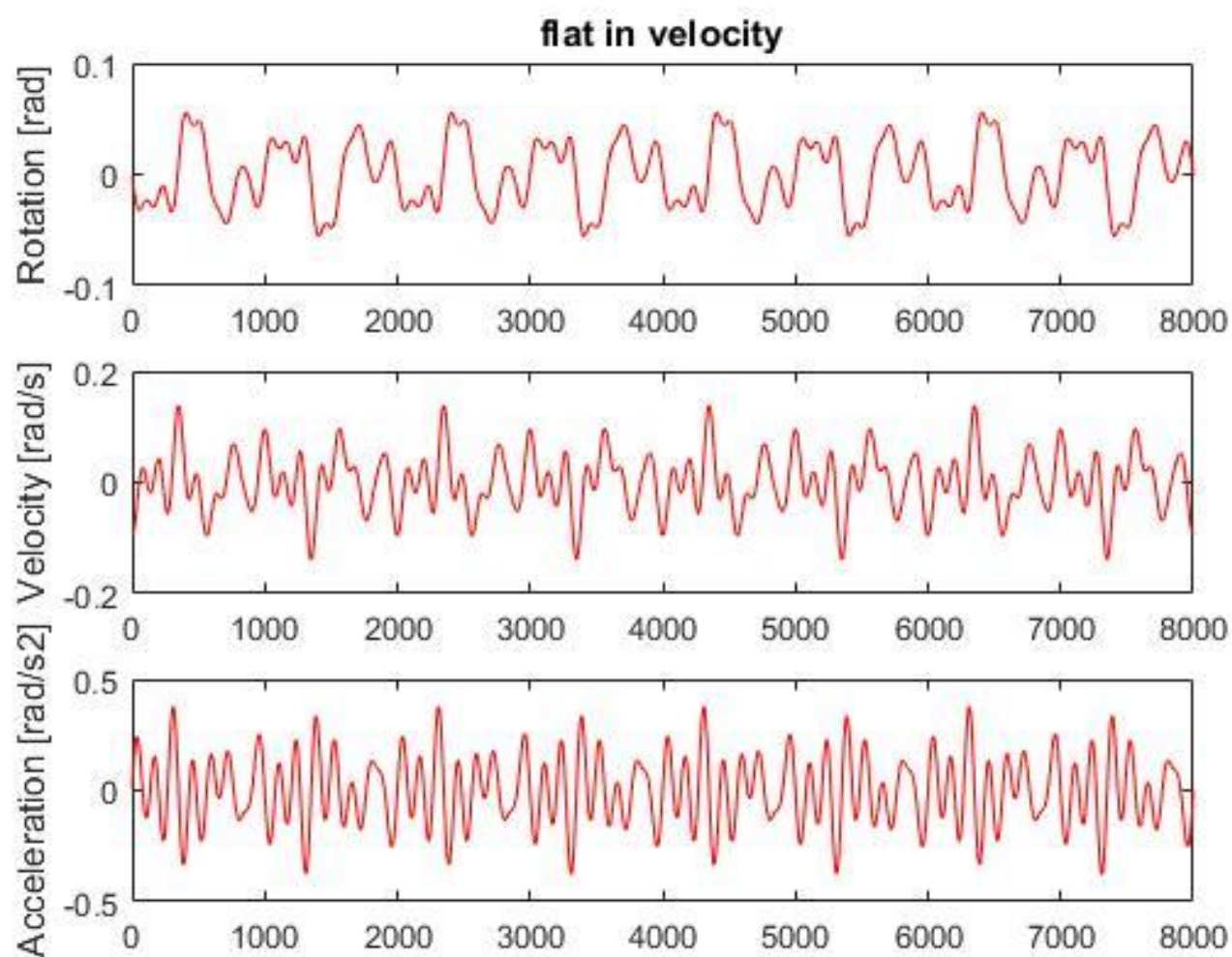
**Category of participants:** light / average / heavy

Date: ...../...../.....

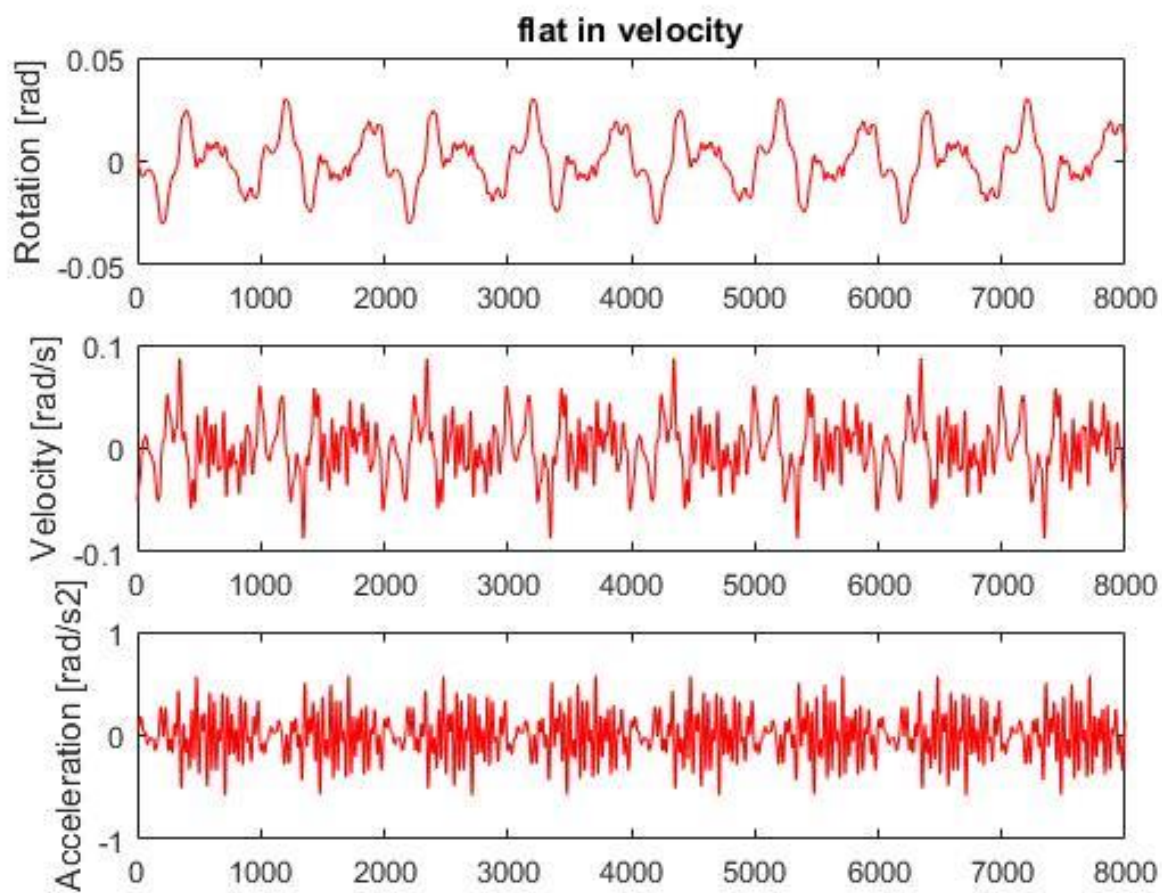
| Nº of Participant | Name | Age (years) | Height (cm) | Mass (Kg) | Torso Inclination (deg) | Knee Position (deg) |
|-------------------|------|-------------|-------------|-----------|-------------------------|---------------------|
| 1                 |      |             |             |           |                         |                     |
| 2                 |      |             |             |           |                         |                     |
| 3                 |      |             |             |           |                         |                     |
| 4                 |      |             |             |           |                         |                     |
| 5                 |      |             |             |           |                         |                     |
| 6                 |      |             |             |           |                         |                     |
| 7                 |      |             |             |           |                         |                     |
| 8                 |      |             |             |           |                         |                     |
| 9                 |      |             |             |           |                         |                     |
| 10                |      |             |             |           |                         |                     |
| 11                |      |             |             |           |                         |                     |
| 12                |      |             |             |           |                         |                     |
| 13                |      |             |             |           |                         |                     |
| 14                |      |             |             |           |                         |                     |
| 15                |      |             |             |           |                         |                     |
| 16                |      |             |             |           |                         |                     |
| 17                |      |             |             |           |                         |                     |
| 18                |      |             |             |           |                         |                     |
| 19                |      |             |             |           |                         |                     |
| 20                |      |             |             |           |                         |                     |

## Annex E: Senyals Experimentals

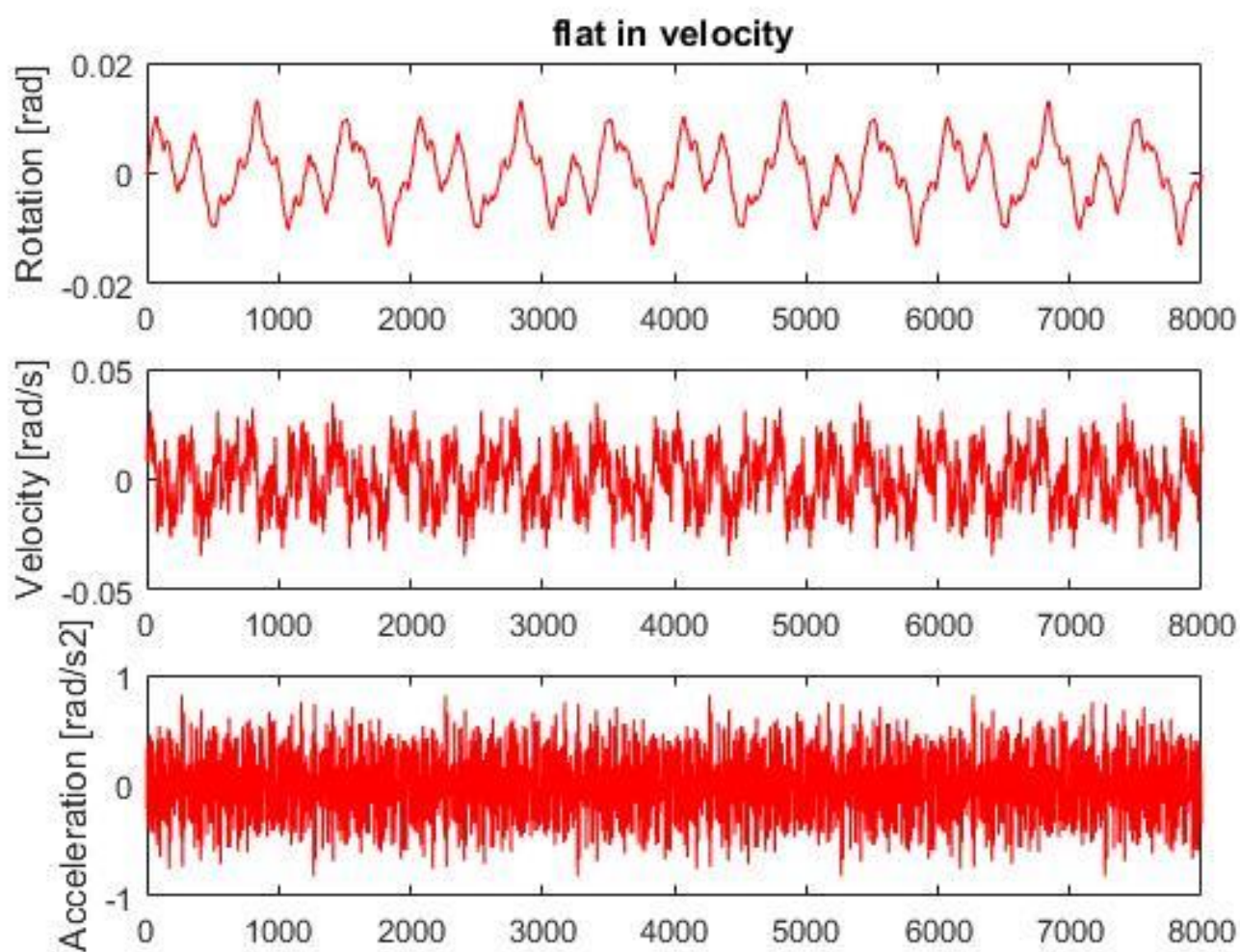
### E.1. Senyal de rotació B1



## E.2. Senyal de rotació B3

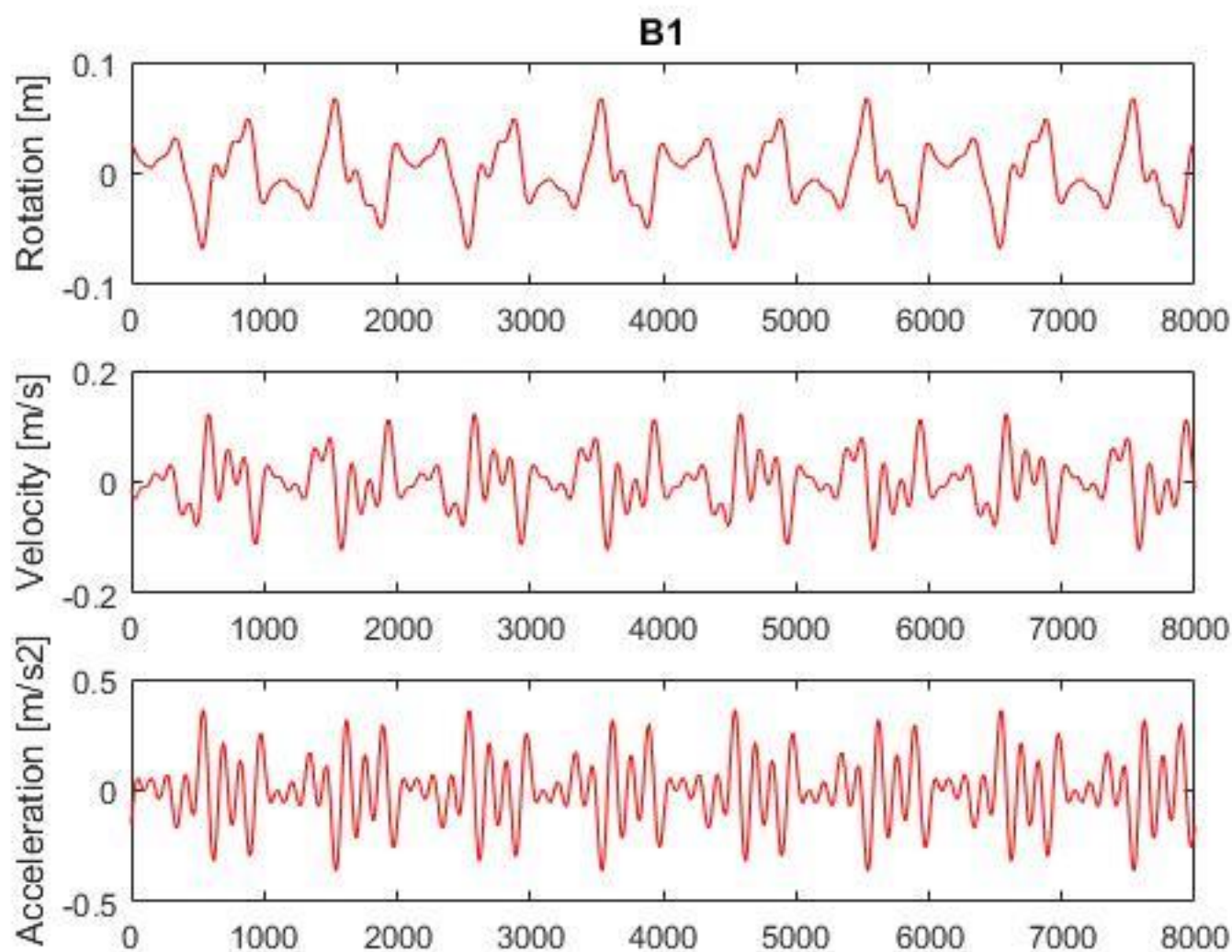


### E.3. Senyal de rotació B10



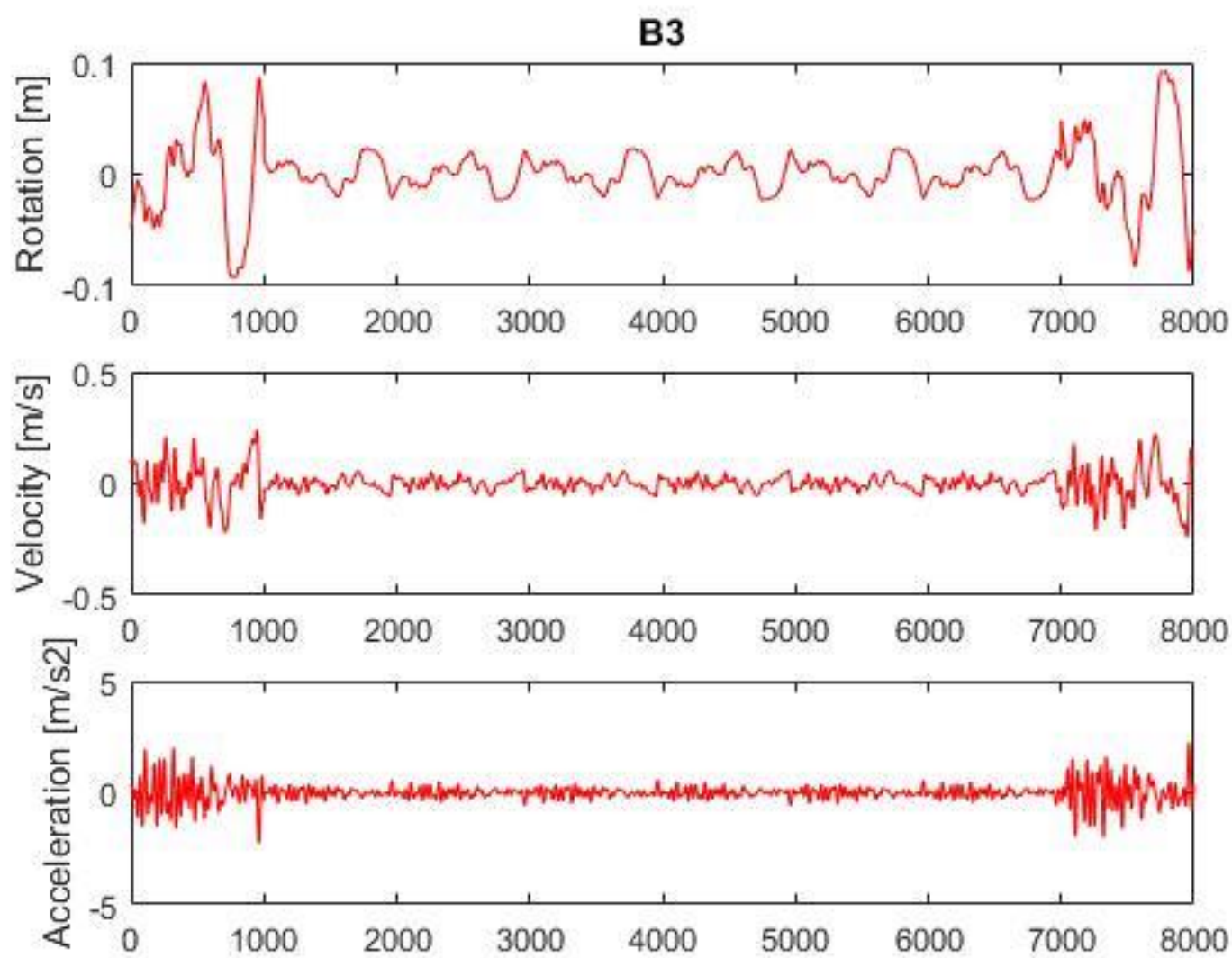


#### E.4. Senyal de translació B1

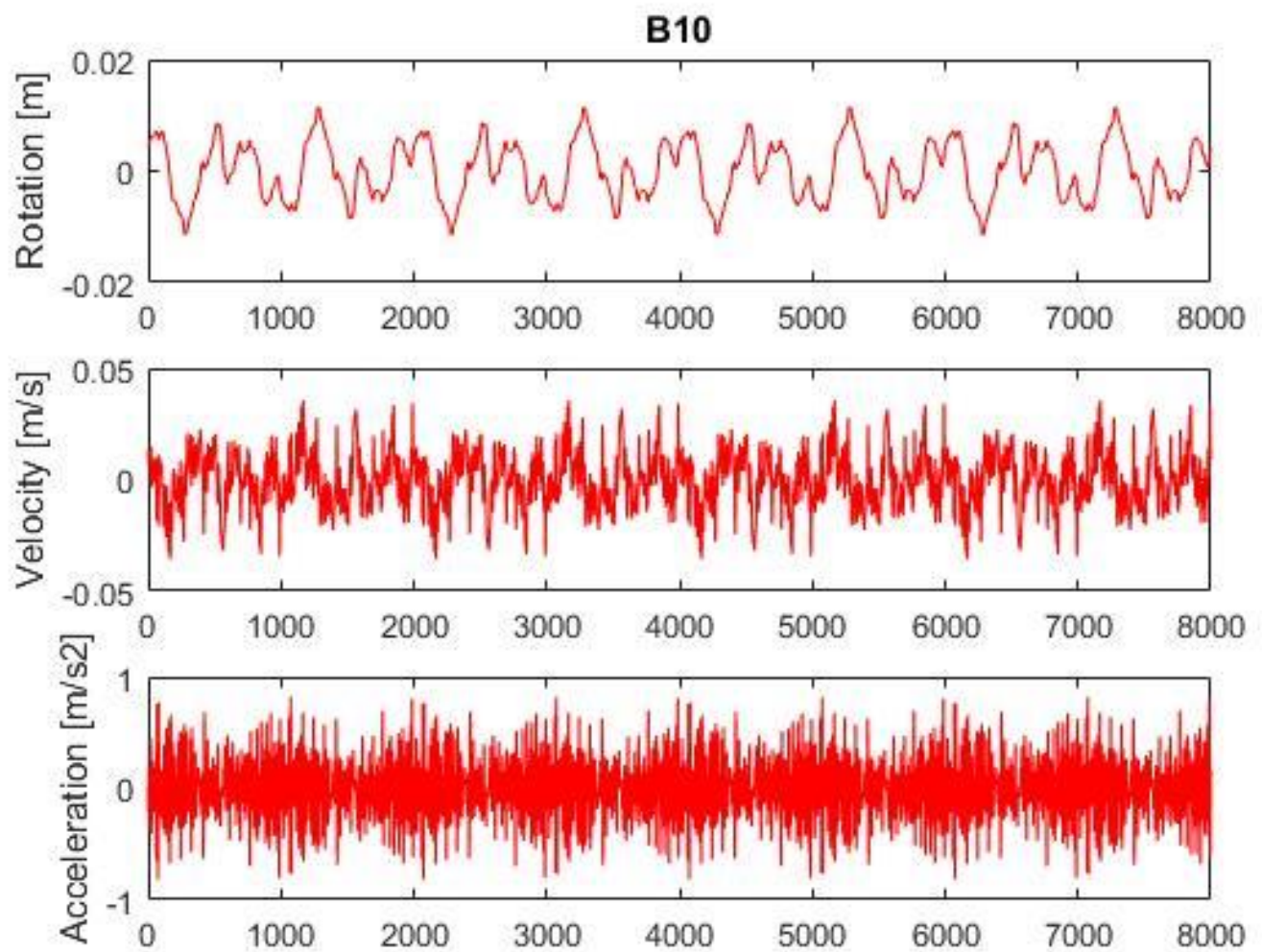




## E.5. Senyal de translació B3



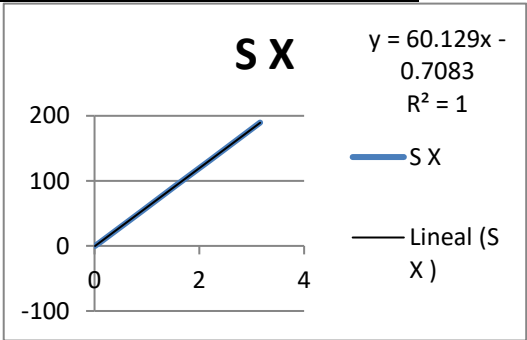
## E.6. Senyal de translació B10



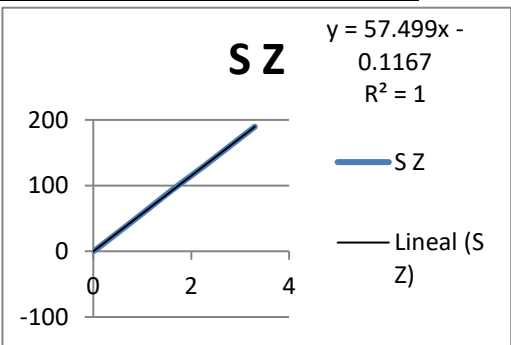
## Annex F: Calibració de les Galgues

En aquest annex, s'incorporaran les taules i gràfiques utilitzades per a la calibració de les galgues extensiomètriques. D'aquesta manera podem convertir els volts que ens subministra la galga a newtons.

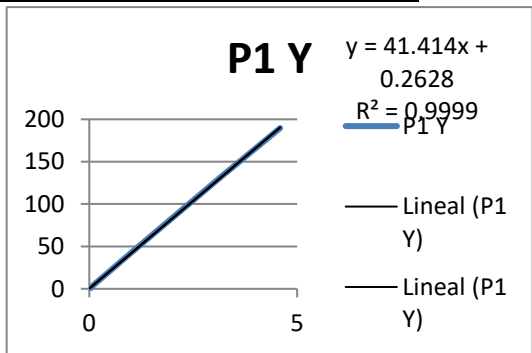
| volt | S X      | kg    |
|------|----------|-------|
| 0.01 | 0        | 0     |
| 0.08 | 4.2183   | 0.43  |
| 0.9  | 53.2683  | 5.43  |
| 1.55 | 92.5083  | 9.43  |
| 2.21 | 131.7483 | 13.43 |
| 3.16 | 189.6273 | 19.33 |



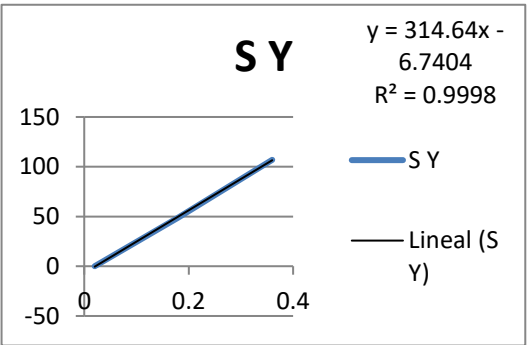
| volt | S Z      | kg    |
|------|----------|-------|
| 0    | 0        | 0     |
| 0.08 | 4.2183   | 0.43  |
| 0.93 | 53.2683  | 5.43  |
| 1.6  | 92.5083  | 9.43  |
| 2.3  | 131.7483 | 13.43 |
| 3.3  | 189.6273 | 19.33 |



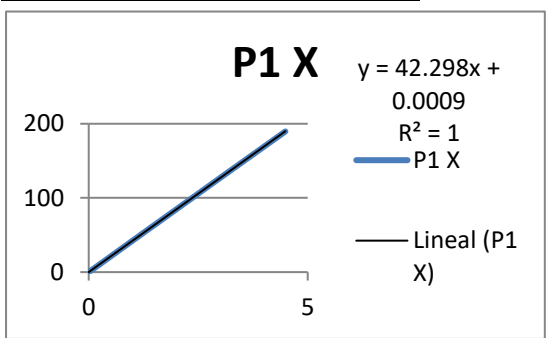
| volt | P1 Y     | kg    |
|------|----------|-------|
| 0.01 | 0        | 0     |
| 0.1  | 4.2183   | 0.43  |
| 1.03 | 43.4583  | 4.43  |
| 1.98 | 82.6983  | 8.43  |
| 3.16 | 131.7483 | 13.43 |
| 4.59 | 189.6273 | 19.33 |



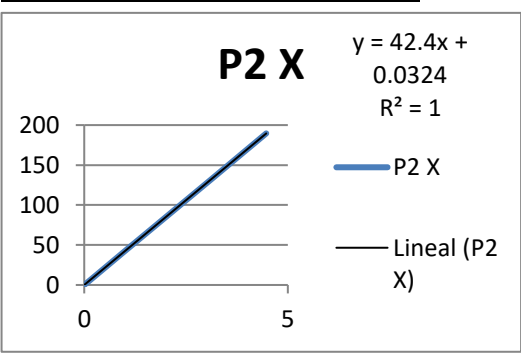
| volt | S Y     | kg   |
|------|---------|------|
| 0.02 | 0       | 0    |
| 0.18 | 49.05   | 5    |
| 0.36 | 106.929 | 10.9 |



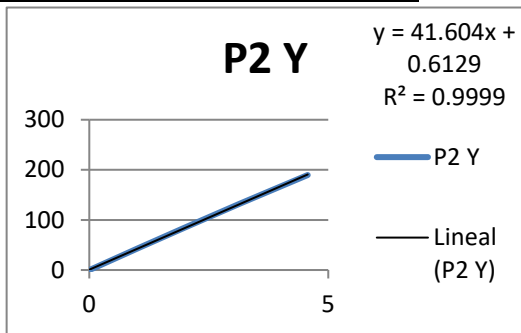
| volt | P1 X     | kg    |
|------|----------|-------|
| 0    | 0        | 0     |
| 0.11 | 4.2183   | 0.43  |
| 1.02 | 43.4583  | 4.43  |
| 1.95 | 82.6983  | 8.43  |
| 3.11 | 131.7483 | 13.43 |
| 4.49 | 189.6273 | 19.33 |



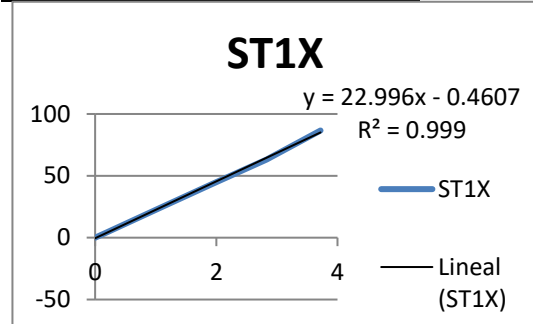
| volt | P2 X     | kg    |
|------|----------|-------|
| 0    | 0        | 0     |
| 0.1  | 4.2183   | 0.43  |
| 1.02 | 43.4583  | 4.43  |
| 1.95 | 82.6983  | 8.43  |
| 3.11 | 131.7483 | 13.43 |
| 4.47 | 189.6273 | 19.33 |



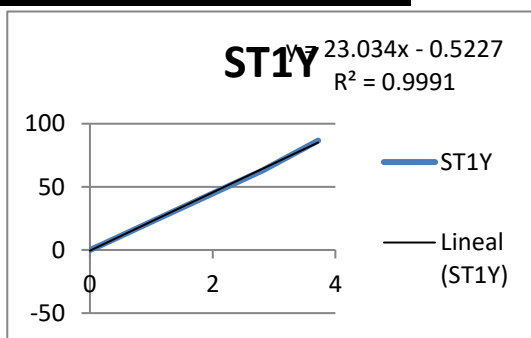
| volt | P2 Y     | kg    |
|------|----------|-------|
| 0    | 0        | 0     |
| 0.1  | 4.2183   | 0.43  |
| 1.02 | 43.4583  | 4.43  |
| 1.95 | 82.6983  | 8.43  |
| 3.13 | 131.7483 | 13.43 |
| 4.57 | 189.6273 | 19.33 |



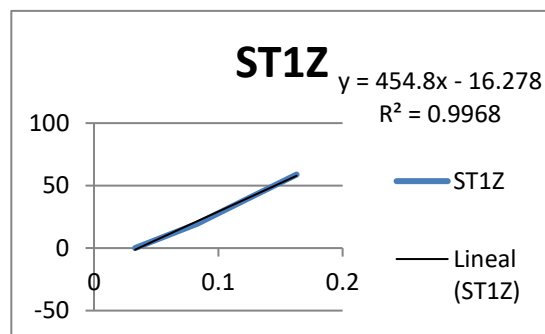
| volt | ST1X    | kg   |
|------|---------|------|
| 0    | 0       | 0    |
| 0.19 | 4.2183  | 0.43 |
| 1.06 | 23.8383 | 2.43 |
| 1.94 | 43.4583 | 4.43 |
| 2.83 | 63.0783 | 6.43 |
| 3.72 | 86.6223 | 8.83 |



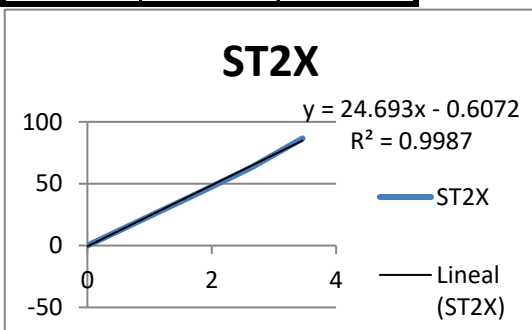
| volt | ST1Y    | kg   |
|------|---------|------|
| 0    | 0       | 0    |
| 0.19 | 4.2183  | 0.43 |
| 1.07 | 23.8383 | 2.43 |
| 1.94 | 43.4583 | 4.43 |
| 2.82 | 63.0783 | 6.43 |
| 3.72 | 86.6223 | 8.83 |



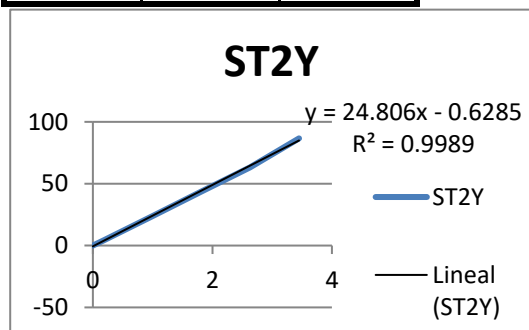
| volt  | ST1Z  | kg |
|-------|-------|----|
| 0.033 | 0     | 0  |
| 0.083 | 19.62 | 2  |
| 0.123 | 39.24 | 4  |
| 0.163 | 58.86 | 6  |



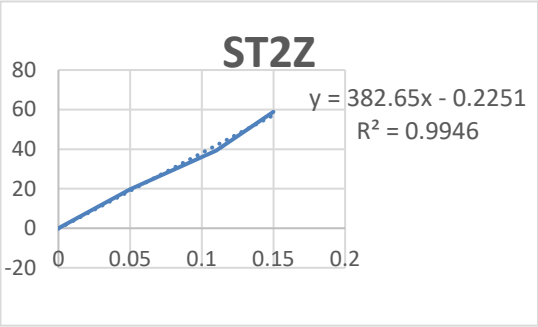
| volt  | ST2X    | kg   |
|-------|---------|------|
| 0     | 0       | 0    |
| 0.176 | 4.2183  | 0.43 |
| 1     | 23.8383 | 2.43 |
| 1.83  | 43.4583 | 4.43 |
| 2.64  | 63.0783 | 6.43 |
| 3.46  | 86.6223 | 8.83 |



| volt | ST2Y    | kg   |
|------|---------|------|
| 0    | 0       | 0    |
| 0.18 | 4.2183  | 0.43 |
| 1    | 23.8383 | 2.43 |
| 1.81 | 43.4583 | 4.43 |
| 2.63 | 63.0783 | 6.43 |
| 3.45 | 86.6223 | 8.83 |



| volt | ST2Z  | kg |
|------|-------|----|
| 0    | 0     | 0  |
| 0.05 | 19.62 | 2  |
| 0.11 | 39.24 | 4  |
| 0.15 | 58.86 | 6  |



## Annex G: Programes de Matlab

### G.1. Llegir informació dels IMU

```
clear all
clc

%% Read xls files

%{
filename = 'myExample.xlsx';
sheet = 1;
xlRange = 'B2:C3';

subsetA = xlsread(filename,sheet,xlRange)
%}

%% Loading Roll Rate Data

filename = 'rb1b1.xlsx';
sheet = 1;
xlRange = 'I4500:I6499';

%%{
rb1b1 = xlsread(filename,sheet,xlRange);

filename = 'rb1c1.xlsx';
rb1c1 = xlsread(filename,sheet,xlRange);

filename = 'rb1b2.xlsx';
rb1b2 = xlsread(filename,sheet,xlRange);

filename = 'rb1c2.xlsx';
rb1c2 = xlsread(filename,sheet,xlRange);

filename = 'rb1b3.xlsx';
rb1b3 = xlsread(filename,sheet,xlRange);

filename = 'rb1c3.xlsx';
rb1c3 = xlsread(filename,sheet,xlRange);

filename = 'rb1b4.xlsx';
rb1b4 = xlsread(filename,sheet,xlRange);

filename = 'rb1c4.xlsx';
rb1c4 = xlsread(filename,sheet,xlRange);

filename = 'rb1b5.xlsx';
rb1b5 = xlsread(filename,sheet,xlRange);

filename = 'rb1c5.xlsx';
rb1c5 = xlsread(filename,sheet,xlRange);
%}
```

```
%%
%{
filename = 'rb3b1.xlsx';
rb3b1 = xlsread(filename, sheet, xlRange);

filename = 'rb3c1.xlsx';
rb3c1 = xlsread(filename, sheet, xlRange);

filename = 'rb3b2.xlsx';
rb3b2 = xlsread(filename, sheet, xlRange);

filename = 'rb3c2.xlsx';
rb3c2 = xlsread(filename, sheet, xlRange);

filename = 'rb3b3.xlsx';
rb3b3 = xlsread(filename, sheet, xlRange);

filename = 'rb3c3.xlsx';
rb3c3 = xlsread(filename, sheet, xlRange);

filename = 'rb3b4.xlsx';
rb3b4 = xlsread(filename, sheet, xlRange);

filename = 'rb3c4.xlsx';
rb3c4 = xlsread(filename, sheet, xlRange);

filename = 'rb3b5.xlsx';
rb3b5 = xlsread(filename, sheet, 'I2666:I6665');

filename = 'rb3c5.xlsx';
rb3c5 = xlsread(filename, sheet, 'I2666:I6665');
%}
%% Ploting input signal
%{
plot(rb1b1)
hold on
plot(rb1b2)
hold on
plot(rb1b3)
hold on
plot(rb1b4)
hold on
plot(rb1b5)
legend('rb1b1', 'rb1b2', 'rb1b3', 'rb1b4', 'rb1b5')
%}
%{
plot(rb3b1)
hold on
plot(rb3b2)
hold on
plot(rb3b3)
hold on
plot(rb3b4)
hold on
plot(rb3b5)
hold on
```



```

legend('rb3b1','rb3b2','rb3b3','rb3b4','rb3b5')
%}
%{
plot(rb1c1)
hold on
%%}
%%{
plot(rb1c2)
%%{
hold on
plot(rb1c3)
hold on
plot(rb1c4)
hold on
plot(rb1c5)
%%}
legend('rb1c1','rb1c2','rb1c3','rb1c4','rb1c5') %
'rb1c1',, 'rb1c3','rb1c4','rb1c5'
%}
%{
plot(rb3c1)
hold on
plot(rb3c2)
hold on
plot(rb3c3)
hold on
plot(rb3c4)
hold on
plot(rb3c5)
hold on
legend('rb3c1','rb3c2','rb3c3','rb3c4','rb3c5')
%}

%% Save data

%{
save('pqfile.mat','p','q')
%}
%%{
save('D:\Mis Documentos\Uni\TFG\matlab\Data
Processing\Report\2ARateB1.mat','rb1b1','rb1b2','rb1b3','rb1b4','rb1b5','
rb1c1','rb1c2','rb1c3','rb1c4','rb1c5')
%save('D:\Mis Documentos\Uni\TFG\matlab\Data
Processing\Report\ARateB3.mat','rb3b1','rb3b2','rb3b3','rb3b4','rb3b5','r
b3c1','rb3c2','rb3c3','rb3c4','rb3c5')
%}

```

## G.2. Calcular la coherència de les senyals

```
clear all
clc

%% Load Signals
load('ARateB1');
load('ARateB3');

%% Calculating the mean of the signals
%B1
%{
i=1;
while i<=4000
    rb1b(i)=(rb1b1(i)+rb1b2(i)+rb1b3(i)+rb1b4(i)+rb1b5(i))/5;
    rb1c(i)=(rb1c1(i)+rb1c2(i)+rb1c3(i)+rb1c4(i)+rb1c5(i))/5;
    i=i+1;
end

rb1b=rb1b(:);
rb1c=-rb1c(:);
%{
plot(rb1b)
hold on
plot(rb1c)
legend('rb1b','rb1c')
%}
% B3
i=1;
while i<=4000
    rb3b(i)=(rb3b1(i)+rb3b2(i)+rb3b3(i)+rb3b4(i)+rb3b5(i))/5;
    rb3c(i)=(rb3c1(i)+rb3c2(i)+rb3c3(i)+rb3c4(i)+rb3c5(i))/5;
    i=i+1;
end

rb3b=rb3b(:);
rb3c=-rb3c(:);
%{
plot(rb3b)
hold on
plot(rb3c)
legend('rb3b','rb3c')
%}
%saving the mean signals
save('D:\Mis Documentos\Uni\TFG\matlab\Data
Processing\Report\B1mean.mat','rb1b','rb1c')
save('D:\Mis Documentos\Uni\TFG\matlab\Data
Processing\Report\B3mean.mat','rb3b','rb3c')
%}

%% Load Mean signals
load('B1mean');
load('B3mean');

%% Coherence
% B1
```

```

% cxy = mscohere(x,y)
%%{
figure(1)
mscohere(rb1b1,rb1c1,2000)
h = findobj(gca,'Type','line');
x=get(h,'Xdata');
y=get(h,'Ydata');

i=1;
l=length(x);
xr=100*x;

while i<=l %getting the range of 0 to 1 Hz in normalized frequency
    if xr(i)<=1
        a(i)=xr(i);
        b(i)=y(i);
    end
    i=i+1;
end

figure(2)
mscohere(rb1b2,rb1c2,2000)
h = findobj(gca,'Type','line');
x=get(h,'Xdata');
y=get(h,'Ydata');

i=1;
while i<=l %getting the range of 0 to 1 Hz in normalized frequency
    if xr(i)<=1
        a2(i)=xr(i);
        b2(i)=y(i);
    end
    i=i+1;
end

figure(3)
mscohere(rb1b3,rb1c3,2000)
h = findobj(gca,'Type','line');
x=get(h,'Xdata');
y=get(h,'Ydata');

i=1;
while i<=l %getting the range of 0 to 1 Hz in normalized frequency
    if xr(i)<=1
        a3(i)=xr(i);
        b3(i)=y(i);
    end
    i=i+1;
end

figure(4)
mscohere(rb1b4,rb1c4,2000)
h = findobj(gca,'Type','line');
x=get(h,'Xdata');
y=get(h,'Ydata');

```

```
i=1;
while i<=1 %getting the range of 0 to 1 Hz in normalized frequency
    if xr(i)<=1
        a4(i)=xr(i);
        b4(i)=y(i);
    end
    i=i+1;
end

figure(5)
mscohere(rb1b5,rb1c5,2000)
h = findobj(gca,'Type','line');
x=get(h,'Xdata');
y=get(h,'Ydata');

i=1;
while i<=1 %getting the range of 0 to 1 Hz in normalized frequency
    if xr(i)<=1
        a5(i)=xr(i);
        b5(i)=y(i);
    end
    i=i+1;
end

figure(6)
mscohere(rb1b,rb1c,2000)
h = findobj(gca,'Type','line');
x=get(h,'Xdata');
y=get(h,'Ydata');

i=1;
while i<=1 %getting the range of 0 to 1 Hz in normalized frequency
    if xr(i)<=1
        a6(i)=xr(i);
        b6(i)=y(i);
    end
    i=i+1;
end

figure(7)
plot(a,b,'b')
hold on
plot(a2,b2,'m')
hold on
plot(a3,b3,'c')
hold on
plot(a4,b4,'r')
hold on
plot(a5,b5,'g')
xlabel('Frequency [Hz]');
ylabel('Magnitude-Squared Coherence');
title('Coherence Estimate via Welch')
legend('rb1b1','rb1b2','rb1b3','rb1b4','rb1b5')
%saveas(figure(7),'D:\Mis Documentos\Uni\TFG\matlab\Data
Processing\Report\Coherence B1.jpg')
```

```

figure(8)
plot(a6,b6,'b')
xlabel('Frequency [Hz]');
ylabel('Magnitude-Squared Coherence');
title('Mean Coherence')
%saveas('figure(8)', 'D:\Mis Documentos\Uni\TFG\matlab\Data
Processing\Report\Mean Coherence B1.jpg')
%}

% B3
%{
figure(1)
mscohere(rb3b1,rb3c1,2000)
h = findobj(gca,'Type','line');
x=get(h,'Xdata');
y=get(h,'Ydata');

i=1;
l=length(x);
xr=100*x;

while i<=l %getting the range of 0 to 3 Hz in normalized frequency
    if xr(i)<=3
        a(i)=xr(i);
        b(i)=y(i);
    end
    i=i+1;
end

figure(2)
mscohere(rb3b2,rb3c2,2000)
h = findobj(gca,'Type','line');
x=get(h,'Xdata');
y=get(h,'Ydata');

i=1;
while i<=l %getting the range of 0 to 3 Hz in normalized frequency
    if xr(i)<=3
        a2(i)=xr(i);
        b2(i)=y(i);
    end
    i=i+1;
end

figure(3)
mscohere(rb3b3,rb3c3,2000)
h = findobj(gca,'Type','line');
x=get(h,'Xdata');
y=get(h,'Ydata');

i=1;
while i<=l %getting the range of 0 to 3 Hz in normalized frequency
    if xr(i)<=3
        a3(i)=xr(i);
        b3(i)=y(i);
    end
end

```

```
i=i+1;
end

figure(4)
mscohere(rb3b4,rb3c4,2000)
h = findobj(gca,'Type','line');
x=get(h,'Xdata');
y=get(h,'Ydata');

i=1;
while i<=1 %getting the range of 0 to 3 Hz in normalized frequency
    if xr(i)<=3
        a4(i)=xr(i);
        b4(i)=y(i);
    end
    i=i+1;
end

figure(5)
mscohere(rb3b5,rb3c5,2000)
h = findobj(gca,'Type','line');
x=get(h,'Xdata');
y=get(h,'Ydata');

i=1;
while i<=1 %getting the range of 0 to 3 Hz in normalized frequency
    if xr(i)<=3
        a5(i)=xr(i);
        b5(i)=y(i);
    end
    i=i+1;
end

figure(6)
mscohere(rb3b,rb3c,2000)
h = findobj(gca,'Type','line');
x=get(h,'Xdata');
y=get(h,'Ydata');

i=1;
while i<=1 %getting the range of 0 to 3 Hz in normalized frequency
    if xr(i)<=3
        a6(i)=xr(i);
        b6(i)=y(i);
    end
    i=i+1;
end

figure(7)
plot(a,b,'b')
hold on
plot(a2,b2,'m')
hold on
plot(a3,b3,'c')
hold on
plot(a4,b4,'r')
```

```
hold on
plot(a5,b5,'g')
xlabel('Frequency [Hz]');
ylabel('Magnitude-Squared Coherence');
title('Coherence Estimate via Welch')
legend('rb3b1','rb3b2','rb3b3','rb3b4','rb3b5')
saveas(figure(7),'D:\Mis Documentos\Uni\TFG\matlab\Data
Processing\Report\Coherence B3.jpg')

figure(8)
plot(a6,b6,'b')
xlabel('Frequency [Hz]');
ylabel('Magnitude-Squared Coherence');
title('Mean Coherence')
saveas(figure(8),'D:\Mis Documentos\Uni\TFG\matlab\Data
Processing\Report\Mean Coherence B3.jpg')
%}
```

### G.3. Calcular la funció de transferència de les senyals

```
clear all
clc

%% Load Signals
load('ARateB1');
load('B1mean');
load('ARateB3');
load('B3mean');

%% FRF
% B1
% tfestimate(x,y>window,noverlap,f,fs)
%{
figure(1)
tfestimate(rb1b1,rb1c1,2000)
h = findobj(gca,'Type','line');
x=get(h,'Xdata');
y=get(h,'Ydata');

i=1;
l=length(x);
xr=100*x;

while i<=l %getting the range of 0 to 1 Hz in normalized frequency
    if xr(i)<=1
        a(i)=xr(i);
        b(i)=y(i);
    end
    i=i+1;
end

figure(2)
tfestimate(rb1b2,rb1c2,2000)
h = findobj(gca,'Type','line');
x=get(h,'Xdata');
y=get(h,'Ydata');

i=1;
while i<=l %getting the range of 0 to 1 Hz in normalized frequency
    if xr(i)<=1
        a2(i)=xr(i);
        b2(i)=y(i);
    end
    i=i+1;
end

figure(3)
tfestimate(rb1b3,rb1c3,2000)
h = findobj(gca,'Type','line');
x=get(h,'Xdata');
y=get(h,'Ydata');

i=1;
```



```

while i<=1 %getting the range of 0 to 1 Hz in normalized frequency
    if xr(i)<=1
        a3(i)=xr(i);
        b3(i)=y(i);
    end
    i=i+1;
end

figure(4)
tfestimate(rb1b4,rb1c4,2000)
h = findobj(gca,'Type','line');
x=get(h,'Xdata');
y=get(h,'Ydata');

i=1;
while i<=1 %getting the range of 0 to 1 Hz in normalized frequency
    if xr(i)<=1
        a4(i)=xr(i);
        b4(i)=y(i);
    end
    i=i+1;
end

figure(5)
tfestimate(rb1b5,rb1c5,2000)
h = findobj(gca,'Type','line');
x=get(h,'Xdata');
y=get(h,'Ydata');

i=1;
while i<=1 %getting the range of 0 to 1 Hz in normalized frequency
    if xr(i)<=1
        a5(i)=xr(i);
        b5(i)=y(i);
    end
    i=i+1;
end

figure(6)
tfestimate(rb1b,rb1c,2000)
h = findobj(gca,'Type','line');
x=get(h,'Xdata');
y=get(h,'Ydata');

i=1;
while i<=1 %getting the range of 0 to 1 Hz in normalized frequency
    if xr(i)<=1
        a6(i)=xr(i);
        b6(i)=y(i);
    end
    i=i+1;
end

figure(7)
plot(a,b,'b')
hold on

```

```

plot(a2,b2,'m')
hold on
plot(a3,b3,'c')
hold on
plot(a4,b4,'r')
hold on
plot(a5,b5,'g')
xlabel('Frequency [Hz]');
ylabel('Magnitude [dB]');
title('Transfer Function Estimate via Welch')
legend('rblb1','rblb2','rblb3','rblb4','rblb5')
saveas(figure(7),'D:\Mis Documentos\Uni\TFG\matlab\Data
Processing\Report\TF B1.jpg')

figure(8)
plot(a6,b6,'b')
xlabel('Frequency [Hz]');
ylabel('Magnitude [dB]');
title('Mean Transfer Function')
saveas(figure(8),'D:\Mis Documentos\Uni\TFG\matlab\Data
Processing\Report\Mean TF B1.jpg')
%}

% B3
%%{
figure(1)
tfestimate(rb3b1,rb3c1,2000)
h = findobj(gca,'Type','line');
x=get(h,'Xdata');
y=get(h,'Ydata');

i=1;
l=length(x);
xr=100*x;

while i<=l %getting the range of 0 to 3 Hz in normalized frequency
    if xr(i)<=3
        a(i)=xr(i);
        b(i)=y(i);
    end
    i=i+1;
end

figure(2)
tfestimate(rb3b2,rb3c2,2000)
h = findobj(gca,'Type','line');
x=get(h,'Xdata');
y=get(h,'Ydata');

i=1;
while i<=l %getting the range of 0 to 3 Hz in normalized frequency
    if xr(i)<=3
        a2(i)=xr(i);
        b2(i)=y(i);
    end
    i=i+1;

```

```

end

figure(3)
tfestimate(rb3b3,rb3c3,2000)
h = findobj(gca,'Type','line');
x=get(h,'Xdata');
y=get(h,'Ydata');

i=1;
while i<=1 %getting the range of 0 to 3 Hz in normalized frequency
    if xr(i)<=3
        a3(i)=xr(i);
        b3(i)=y(i);
    end
    i=i+1;
end

figure(4)
tfestimate(rb3b4,rb3c4,2000)
h = findobj(gca,'Type','line');
x=get(h,'Xdata');
y=get(h,'Ydata');

i=1;
while i<=1 %getting the range of 0 to 3 Hz in normalized frequency
    if xr(i)<=3
        a4(i)=xr(i);
        b4(i)=y(i);
    end
    i=i+1;
end

figure(5)
tfestimate(rb3b5,rb3c5,2000)
h = findobj(gca,'Type','line');
x=get(h,'Xdata');
y=get(h,'Ydata');

i=1;
while i<=1 %getting the range of 0 to 3 Hz in normalized frequency
    if xr(i)<=3
        a5(i)=xr(i);
        b5(i)=y(i);
    end
    i=i+1;
end

figure(6)
tfestimate(rb3b,rb3c,2000)
h = findobj(gca,'Type','line');
x=get(h,'Xdata');
y=get(h,'Ydata');

i=1;
while i<=1 %getting the range of 0 to 3 Hz in normalized frequency
    if xr(i)<=3

```

```
        a6(i)=xr(i);
        b6(i)=y(i);
    end
    i=i+1;
end

figure(7)
plot(a,b,'b')
hold on
plot(a2,b2,'m')
hold on
plot(a3,b3,'c')
hold on
plot(a4,b4,'r')
hold on
plot(a5,b5,'g')
xlabel('Frequency [Hz]');
ylabel('Magnitude [dB]');
title('Transfer Function Estimate via Welch')
legend('rb3b1','rb3b2','rb3b3','rb3b4','rb3b5')
saveas(figure(7),'D:\Mis Documentos\Uni\TFG\matlab\Data
Processing\Report\TF B3.jpg')

figure(8)
plot(a6,b6,'b')
xlabel('Frequency [Hz]');
ylabel('Magnitude [dB]');
title('Mean Transfer Function')
saveas(figure(8),'D:\Mis Documentos\Uni\TFG\matlab\Data
Processing\Report\Mean TF B3.jpg')
%}
```

## Device inspection

(to be filled in by the AMA advisor of the corresponding faculty)

**Name:**

**Faculty:**

The device and its surroundings described above have been inspected. During this inspection I could not detect any extraordinary risks.

*(Briefly describe what components have been inspected and to what extent (i.e. visually, mechanical testing, measurements for electrical safety etc.)*

**Date:**

**Signature:**

Inspection valid until<sup>4</sup>:

Note: changes to the device or set-up, or use of the device for an experiment type that it was not inspected for require a renewed inspection

---

4 Indicate validity of the inspection, with a maximum of 3 years

## G.4. Calcular FFT

```

clear all
clc

%load('R_B2'); %load signal
load('ARateB1');

%%
%{

Fs = 1000;           % Sampling frequency
T = 1/Fs;           % Sampling period
L = 1500;           % Length of signal
t = (0:L-1)*T;      % Time vector

Y = fft(X);

P2 = abs(Y/L);
P1 = P2(1:L/2+1);
P1(2:end-1) = 2*P1(2:end-1);

f = Fs*(0:(L/2))/L;
plot(f,P1)
title('Single-Sided Amplitude Spectrum of X(t)')
xlabel('f (Hz)')
ylabel('|P1(f)|')

Y = fft(S);
P2 = abs(Y/L);
P1 = P2(1:L/2+1);
P1(2:end-1) = 2*P1(2:end-1);

plot(f,P1)
title('Single-Sided Amplitude Spectrum of S(t)')
xlabel('f (Hz)')
ylabel('|P1(f)|')

%}

Fs = 100;           % Sampling frequency
T = 1/Fs;           % Sampling period
L = 4000;           % Length of signal
t = (0:L-1)*T;      % Time vector

Y = fft(rblb1);

P2 = abs(Y/L);
P1 = P2(1:L/2+1);
P1(2:end-1) = 2*P1(2:end-1);

f = Fs*(0:(L/2))/L;
figure(1)
plot(f,P1)

```

```
axis([0 3 0 0.1])
title('Single-Sided Amplitude Spectrum of X(t)')
xlabel('f (Hz)')
ylabel('|P1(f)|')

Y2 = fft(rb1c1);

P22 = abs(Y2/L);
P12 = P22(1:L/2+1);
P12(2:end-1) = 2*P12(2:end-1);
figure(2)
plot(f,P12)
axis([0 3 0 0.1])
title('Single-Sided Amplitude Spectrum of X(t)')
xlabel('f (Hz)')
ylabel('|P1(f)|')
%{
Y3 = fft(rb2v);

P23 = abs(Y3/L);
P13 = P23(1:L/2+1);
P13(2:end-1) = 2*P1(2:end-1);
figure(3)
plot(f,P13)
axis([0 3 0 0.1])
title('Single-Sided Amplitude Spectrum of X(t)')
xlabel('f (Hz)')
ylabel('|P1(f)|')
%}
```

